

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,
Prometnotehnična smer

Kandidat:

Boštjan Jurak

Sodobne metode za analizo nivojskih križišč - praktični primer krožno križišče Drnovo

Diplomska naloga št.: 200

Mentor:
doc. dr. Tomaž Maher

Ljubljana, 30. 9. 2005

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **BOŠTJAN JURAK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»SODOBNE METODE ZA ANALIZO NIVOJSKIH KRIŽIŠČ - PRAKTIČNI PRIMER
KROŽNO KRIŽIŠČE DRNOVO«**

Ljubljana, 10.9.2005

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 625.739:656.1 (043.2)

Avtor: Boštjan Jurak

Mentor: Doc.dr. Tomaž Maher

Naslov: Sodobne metode za analizo nivojskih križišč – Praktični primer krožno križišče Drnovo

Obseg in oprema: 93 str., 21 pregl., 54 sl., 6 en.

Ključne besede: krožno križišče, semaforizirano križišče, kapaciteta

Izvleček

Pri načrtovanju križišč se pogosto srečujemo z izbiro med zasnovo semaforiziranega križišča in krožnega križišča. Da bi se pravilno oziroma smotrno odločili si moramo odgovoriti na zelo pomembno vprašanje, in sicer, katera zasnova omogoča večjo prepustnost. Do danes je bilo narejenih kar nekaj raziskav, ki podajajo ta odgovor. Zato je detajla primerjava teh dveh tipov križišč na mestu. Ta naloga primerja prepustnost krožnega križišča in semaforiziranega križišča s štirimi kraki simetričnega na center, in sicer na primeru krožnega križišča Drnovo.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 625.739:656.1 (043.2)
Author: Boštjan Jurak
Supervisor: Assist. Prof. dr. Tomaž Maher
Title: Modern methods for analysing junctions - Practical example roundabout Drnovo
Notes: 93 p., 21 tab., 54 fig., 6 eq.
Key words: roundabout, signalised junction, capacity

Abstract

In a junction design we often face with the choice between a roundabout design and a signalised junction design. To make the choice, one important question should be answered is which design gives a higher capacity. Until now, there is few research who clearly answer this question. Therefore a research about the detailed comparison of capacity of these two types of junction designs is needed. This paper tries to compare the capacity of roundabout and signalised junction designs for junctions with four branches and are symmetric about centre on a roundabout Drnovo.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Maherju za strokovno pomoč in vodenje pri pripravljanju diplomske naloge.

Posebna zahvala velja staršem, ki so mi z velikim odrekanjem omogočili študij, ter vsem, ki so kakorkoli prispevali k mojemu študiju oziroma pri izdelavi predložene naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	SPLOŠNO O NIVOJSKIH KRIŽIŠČIH.....	2
2.1	KRITERIJI ZA UVEDBO KRIŽIŠČA	2
2.2	VRSTE IN TIPI NIVOJSKIH KRIŽIŠČ	3
2.2.1	<i>Namen nivojskih križišč</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Porazdelitev prometa v križiščih.....</i>	<i>3</i>
2.2.3	<i>Delitev in ureditev križišč glede na kategorijo križajočih cest</i>	<i>4</i>
2.2.4	<i>Načela oblikovanja križišč.....</i>	<i>4</i>
2.2.5	<i>Delitev nivojskih križišč</i>	<i>6</i>
2.3	KROŽNO KRIŽIŠČE	7
2.3.1	<i>Lastnosti krožnih križišč</i>	<i>7</i>
2.3.2	<i>Delitev krožnih križišč</i>	<i>9</i>
3	PRIMERJAVA KAPACITET SEMAFORIZIRANIH IN KROŽNIH KRIŽIŠČ	14
3.1	POLNA KAPACITETA KROŽNIH KRIŽIŠČ	14
3.2	POLNA KAPACITETA SEMAFORIZIRANEGA KRIŽIŠČA.....	19
3.3	PRIMERJAVA POLNE KAPACITETE.....	20
3.3.1	<i>Mini-križišča.....</i>	<i>21</i>
3.3.2	<i>Majhna križišča</i>	<i>23</i>
3.3.3	<i>Srednje velika križišča</i>	<i>25</i>
3.3.4	<i>Velika križišča.....</i>	<i>27</i>
3.3.5	<i>Ugotovitve primerjave</i>	<i>29</i>
4	PROGRAMSKO ORODJE AASIDRA	30
4.1	KAJ PROGRAMSKO ORODJE AASIDRA OMOGOČA?	31
4.2	DELOVANJE IN UPORABA PROGRAMSKE OPREME AASIDRA.....	32
4.2.1	<i>Osnove programskega orodja aaSIDRA.....</i>	<i>32</i>
4.2.2	<i>Osnovne nastavitve</i>	<i>34</i>
4.2.3	<i>Modul RIDES.....</i>	<i>36</i>
4.2.4	<i>Izračun križišča oziroma krožnega križišča s pomočjo modula RIDES</i>	<i>37</i>
4.2.5	<i>Izhodni podatki</i>	<i>60</i>
5	KROŽNO KRIŽIŠČE DRNOVO	68
5.1	PREDHODNE ANALIZE KRIŽIŠČA DRNOVO	69
5.1.1	<i>Primerjava uspešnosti variant iz študije.....</i>	<i>70</i>
5.2	ANALIZA KROŽNEGA KRIŽIŠČA DRNOVO	72
5.2.1	<i>Angleška metoda – geometrijski elementi.....</i>	<i>72</i>
5.2.2	<i>Obstoječe stanje krožnega križišča Drnovo.....</i>	<i>74</i>
5.2.3	<i>Angleška metoda - analiza.....</i>	<i>74</i>
5.2.4	<i>Avstralska metoda - aaSIDRA</i>	<i>75</i>
5.3	SEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE DRNOVO– AASIDRA	77
5.3.1	<i>Geometrija križišča.....</i>	<i>77</i>
5.3.2	<i>Analiza stanja glede na prometne obremenitve marec 2000</i>	<i>78</i>
5.3.3	<i>Analiza stanja glede na prometne obremenitve februar 2004.....</i>	<i>79</i>
6	UGOTOVITVE.....	81
6.1.1	<i>Primerjava rezultatov metod analize.....</i>	<i>81</i>
6.1.2	<i>Rezultati analize s programskim orodjem aaSIDRA</i>	<i>82</i>
7	ZAKLJUČEK	86
8	LITERATURA.....	87

SEZNAM SLIK

Slika 1: Vodenje pasov mimo krožnega križišča (direktno vodenje).....	12
Slika 2: Eden veliki	13
Slika 3: Dva majhna	13
Slika 4: Razmerje med α in L_{ba}	15
Slika 5: Prometni tok v krožnem križišču.....	17
Slika 6: Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za mini-križišča	21
Slika 7:Zasnova faz za mini-križišča.....	22
Slika 8:Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za majhna križišča	23
Slika 9:Zasnova faz za majhna križišča.....	24
Slika 10: Primerjava polne kapacitete za majhna križišča	24
Slika 11:Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za srednje velika križišča..	25
Slika 12: Zasnova faz za srednje velika križišča	25
Slika 13: Primerjava polne kapacitete za srednje velika križišča.....	26
Slika 14: Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za velika križišča	27
Slika 15: Zasnova faz za velika križišča.....	28
Slika 16: Primerjava polne kapacitete za velika križišča	29
Slika 17:Okno za izbiro tipa križišča.....	33
Slika 18: Glavno okno aaSIDRA	33
Slika 19: Okno z nastavitvami.....	34
Slika 20: Prikaz celotnega časa, časa koničnega toka in celotnega prometnega toka	39
Slika 21: Okno za določitev geometrije križišča	40
Slika 22: Definicija uvozne razdalje in ostalih parametrov.....	42
Slika 23: Definicija uvozne razdalje in ostalih parametrov.....	42
Slika 24: Geometrijski parametri krožnega križišča	43
Slika 25: Razdalja prečkanja pešcev	45
Slika 26: Dolžina pasu za priključevanje	46
Slika 27: Številčenje voznih pasov v aaSIDRA	47
Slika 28: Oznake za smeri na voznih pasovih v aaSIDRA.....	48
Slika 29: Tipi pasov.....	48
Slika 30: Primer kolone pri desnih zavijalcih.....	49
Slika 31: Primer kolone pri levih zavijalcih	50
Slika 32: Primer nekaterih faz	51
Slika 33: Oznake nasprotnih zavijalcev v aaSIDRA.....	52
Slika 34: Izvozni prometni tok za krožno križišče in semaforizirano križišče.....	53
Slika 35: Parametri za določanje časov cikla	55
Slika 36: Primer zaporedja faz (ena zelena faza ali dve zeleni fazi)	56
Slika 37: Primer izpisa rezultatov za križišče.....	60
Slika 38: Primer izpisa rezultatov za vse smeri.....	61
Slika 39: Primer grafikona za določitev optimalnega časa cikla.....	63
Slika 40: Primer geometrije	64
Slika 41: Primer zaporedja faz.....	65
Slika 42: Primer nivoja uslug po smereh.....	67
Slika 43: Pregledna karta Drnovo.....	68
Slika 44: Smeri v krožnem križišču Drnovo	68
Slika 45: Grafični prikaz geometrijskih podatkov.....	72
Slika 46: Poškodbe robnikov	75
Slika 47: Prometne obremenitve v krožnem križišču Drnovo v obeh koničnih urah.....	76
Slika 49: Geometrija analiziranega semaforiziranega križišča.....	77

Slika 50: Fazna struktura	78
Slika 51: Zamude in NU v križišču [sek/voz] (jutranja in popoldanska konica).....	78
Slika 52: Kolone v križišču Drnovo [m] (jutranja in popoldanska konica).....	79
Slika 53: Zamude in NU v križišču [sek/voz] (jutranja in popoldanska konica).....	80
Slika 54: Kolone v križišču Drnovo [m] (jutranja in popoldanska konica).....	80

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Minimalne razdalje med križišči	2
Preglednica 2: Delitev nivojskih križišč glede na kategorizacijo cest.....	4
Preglednica 3: Delitev krožnih križišč glede na lokacijo in velikost	9
Preglednica 4: Podatki v aaSIDRA za krožna križišča.....	43
Preglednica 5: Odnos med širino ceste v krožnem križišču in številom voznih pasov	44
Preglednica 6: Načini prihodov vozil	47
Preglednica 7: Parametri za semaforizirana križišča	54
Preglednica 8: Parametri za krožna križišča za vse verzije	54
Preglednica 9: Parametri za nesemaforizirana križišča z večpasovno glavno cesto	54
Preglednica 10: Parametri za nesemaforizirana križišča z dvopasovno glavno cesto	54
Preglednica 11: Primer zaporedja faz (ena zelena faza ali dve zeleni fazi)	56
Preglednica 12: Seznam izhodnih tabel programskega orodja aaSIDRA	62
Preglednica 13: Prometna obremenitev križišča Drnovo januarja 2000 v jutranji konični uri	69
Preglednica 14: Prometna obremenitev križišča Drnovo januarja 2000 v popoldanski konični uri	69
Preglednica 15: Primerjava parametrov uspešnosti	70
Preglednica 16: Mejne in priporočene vrednosti geometrijskih elementov	73
Preglednica 17: Geometrijski podatki za krožno križišče Drnovo	74
Preglednica 18: Izkoriščenost uvozov v krožnem križišču Drnovo v jutranji konici.....	74
Preglednica 19: Izkoriščenost uvozov v krožnem križišču Drnovo v popoldanski konici.....	74
Preglednica 20: Prometna obremenitev krožnega križišča Drnovo v jutranji konični uri.....	76
Preglednica 21: Prometna obremenitev krožnega križišča Drnovo v popoldanski konični uri	76

SEZNAM GRAFIKONOV

Grafikon 1: Primerjava kapacitet uvozov izračunanih po različnih metodah.....	81
Grafikon 2: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Krško (jutranja konica).....	82
Grafikon 3: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Krško (popoldanska konica).	82
Grafikon 4: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Velika vas (jutranja konica)..	83
Grafikon 5: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Velika vas (popoldanska konica).....	83
Grafikon 6: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri AC, Novo mesto (jutranja konica).....	84
Grafikon 7: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri AC, Novo mesto (popoldanska konica).....	84
Grafikon 8: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Drnovo (jutranja konica)	85
Grafikon 9: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Drnovo (popoldanska konica)	85

1 UVOD

Križišče predstavlja površino, ki si jo deli več prometnih tokov, zato je samo vprašanje časa kdaj bo med njimi prišlo do konflikta. Konflikti med prometnimi tokovi so poglaviti vzrok za prometne nesreče. Da bi se izognili prometnim nesrečam je potrebno konfliktne prometne tokove med seboj ločiti v času. Krožno križišče je križišče z osrednjim otokom, kjer se konfliktni prometni tokovi ločijo v času po prioriteti, krožeči prometni tok je prednostni prometni tok. semaforizirano križišče je križišče s svetlobnimi signalnimi napravami, kjer so konfliktni prometni tokovi ločeni v času s svetlobnimi signali.

Pri načrtovanju križišč se pogosto srečujemo z izbiro med zasnovo semaforiziranega križišča in krožnega križišča. Da bi se pravilno oziroma smotrno odločili si moramo odgovoriti na zelo pomembno vprašanje, in sicer, katera zasnova omogoča večjo prepustnost. Do danes je bilo narejenih kar nekaj raziskav, ki podajajo ta odgovor. Zato je detajla primerjava teh dveh tipov križišč na mestu. Ta naloga primerja prepustnost krožnega križišča in semaforiziranega križišča s štirimi kraki simetričnega na center, in sicer na primeru krožnega križišča Drnovo.

2 SPLOŠNO O NIVOJSKIH KRIŽIŠČIH

V tem poglavju se bomo dotaknili splošnih kriterijev za uvedbo nivojskih semaforiziranih in nesemaforiziranih križišč ter krožnih križišč. Teh kriterijev je več in so po svoji naravi med seboj različni. Prav tako pa so tudi odvisni od metodologij, ki jo uporabimo pri načrtovanju le-teh.

2.1 KRITERIJI ZA UVEDBO KRIŽIŠČA

Zaradi različnih kriterijev moramo pri ugotavljanju primernosti uvedbe novega križišča vedno preveriti ustreznost naslednjim splošnim kriterijem: funkcionalni kriterij, kriterij prepustnosti, prostorski kriterij, prometno-varnostni kriterij.

- a) *Funkcionalni kriterij* pomeni ustreznost lokacije in položaja predvidenega križišča v globalni cestni mreži nekega naselja glede na njegovo funkcijo in pomen. Gre torej za preveritev lokacije in tipa predvidenega križišča s stališča njegove funkcije (namen/pomen).
- b) *Kriterij prepustnosti* pomeni ugotavljanje ravni prepustnosti predvidenega križišča na koncu planske dobe in temu primerna kontrola in izbira elementov križišča (števila prometnih pasov, preveritev potrebe po usmerjevalnih pasovih, izbira načina vodenja prometnih tokov).

Sestavni del preveritve kriterija prepustnosti križišča v urbanem okolju je tudi preveritev oddaljenosti do predhodnega oz. naslednjega križišča oz. preveritev kriterija umestitve križišča med dve obstoječi (ali predvideni) zaporedni križišči.

Preglednica 1: Minimalne razdalje med križišči

VK [km/h]	50	60	70	80	90
Priporočena razdalja med križišči [m]	140	170	205	235	270

- c) *Prostorski kriterij* pogojuje vrsto in način porazdelitve prometa v nivojskih križiščih, število prometnih pasov, izvedba usmerjevalnih pasov... vplivajo na izbiro projektno - tehničnih elementov križišča, s tem pa tudi na porabo prostora, potrebnega za izvedbo križišča. Gre torej za preveritev zadostnosti prostora za izvedbo predvidenega križišča z elementi, ki ustrezajo kriteriju prepustnosti.
- d) *Prometno - varnostni kriterij* preveri raven prometne varnosti predvidenega križišča, ki jo bodo nudili predvidena vrsta in način porazdelitve prometa, uporabljeni projektno - tehnični elementi križišča in razpoložljiv prostor. Gre torej za preveritev uporabljenih elementov za zadoščanje funkcionalnega in prostorskega kriterija ter kriterija prepustnosti s stališča prometne varnosti.
- e) *Kriterij čakalnih časov* so glavna mera pri vrednotenju nivoja uslug. Pri vožnji skozi križišče se zaradi vodenja prometa in geometrije križišča ustvarjajo zamude. Vsebujejo vožnjo pri nizki hitrosti in ustavljanja v koloni na uvozni cesti v križišče. Zamude vsebujejo tudi čas potreben za zaustavitev (zaviranje) in čas pri pospeševanju.
- f) Družbeno ekonomska upravičenost investicije določi interno stopnjo donosa investicije, pri čemer se upoštevajo stroški investicije in koristi uporabnikov.

2.2 VRSTE IN TIPI NIVOJSKIH KRIŽIŠČ

2.2.1 Namen nivojskih križišč

Namen nivojskih cestnih križišč je zagotavljanje vame, udobne, hitre in ekonomične porazdelitve (križanje, prepletanje, združevanje ali cepljenje) prometnih tokov.

2.2.2 Porazdelitev prometa v križiščih

V križiščih se v odvisnosti od pomena križišča v cestni mreži oz. kategorije križajočih cest, uporabljata prostorska in časovna delitev prometnih tokov.

Prostorska delitev prometnih tokov vpliva na gradbeno-tehnično oblikovanje križišča, časovna delitev pa na prometno-tehnično ureditev križišča. Prostorsko delitev izvajamo z dodajanjem prometnih pasov v ravnini križišča (horizontalna porazdelitev), s katerimi usmerjamo posamezne smerne tokove ter izven ravnine oziroma v različnih ravninah-nivojih križišča (vertikalna porazdelitev), s čimer eliminiramo križanje prometnih tokov.

Časovna delitev je umetno prekinjanje posameznih prometnih tokov z namenom, da v tem toku ustvarimo zadostne časovne praznine, ki jih uporabljajo vozila drugega prometnega toka. Časovna delitev se izvaja s svetlobno signalnimi napravami.

2.2.3 Delitev in ureditev križišč glede na kategorijo križajočih cest

Osnovo za delitev nivojskih križišč na različne vrste predstavlja kategorizacija cest, določena z Zakonom o javnih cestah (Uradni list RS, št.29/1997) Posamezne vrste križišč zahtevajo različno ureditev kot je prikazano v Preglednici 2.

Preglednica 2: Delitev nivojskih križišč glede na kategorizacijo cest

	G1	G2	R1	R2	R3	LC	JP	PP	NC
G1	Z,L,K	S,Z,L,K	S,Z,L,K	S,Z,L,K	Z,L,K,PZ	Z,L,K,PZ		PZ	
G2	S,Z,L,K	S,Z,L,K	S,Z,L,K	S,Z,L,K	Z,L,K,PZ	Z,L,K,PZ	PZ,K	PZ	
R1	S,Z,L,K	S,Z,L,K	PZ,Z,L,K	PZ,Z,K	PZ,Z,K	PZ,K	PZ	PZ	
R2	S,Z,L,K	S,Z,L,K	PZ,Z,K	PZ,Z,K	PZ,Z,K	PZ,K	PZ	PZ	PZ
R3	Z,L,K,PZ	Z,L,K,PZ	PZ,Z,K	PZ,Z,K	PZ,Z,K	PZ	PZ	PZ	PZ
LC	Z,L,K,PZ	Z,L,K,PZ	PZ,K	PZ,K	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ
JP		PZ,K	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PD
PP	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ
NC				PZ	PZ	PZ	PD	PD	PD

Legenda:

G1, G2	glavne ceste	K	kanalizirano križišče (kaplja, trikotnik)
R1, R2, R3	regionalne ceste	PZ	prometni znaki (II-1 ali II-2)
LC	lokalna cesta	PD	pravilo desnega
JP	javna pot	L	ločilni otoki (trikotni otoki, otoki za pešce, ločilni pasovi)
PP	prometna površina zunaj vozišč		
NC	nekategorizirana cesta		
S	sernaforizacija križišča		
Z	posebni pasovi za zavijalce		

2.2.4 Načela oblikovanja križišč

Križišča so prometne površine, v katerih se prometni tokovi križajo, združujejo, cepijo ali prepletajo, zato jih zasnujemo tako, da v njih čim redkeje nastopijo konfliktna situacija med udeleženci v prometu, ob tem pa stremimo k temu, da so časovne izgube prometnih tokov čim manjše.

Za zagotavljanje prej naštetih načel uporabljamo nekaj splošnih načel za oblikovanje nivojskih križišč:

- Vozne razmere v križiščih naj bodo čim bolj podobne razmeram na odseku ceste pred križiščem
- Prometno varnostne razmere naj bodo v križišču optimalne
- Prepustnost križišča ne sme vplivati na prepustnost odseka med dvema zaporednima križiščema

Ločimo tri vrste prometnih tokov v križiščih:

- *neprekinjen prometni tok* tvorijo vozila, ki se v križišču ne ustavljajo
- *prekinjen prometni tok* tvorijo vozila, ki se v križišču ustavijo zaradi zunanjih dejavnikov: prometni znaki, svetlobno signalne naprave
- *kombiniran prometni tok*, kjer določeni tokovi ohranijo lastnosti neprekinjenega prometnega toka, drugi pa dobijo lastnosti prekinjenega toka.

Različne prometne tokove lahko v križišču vodimo na več načinov, odvisno od tipa križišča in kategorije križajočih se cest. Izbira načina vodenja prometnih tokov v križišču določa raven prometne varnosti v križišču (število konfliktnih točk, njihovo jakost, velikost konfliktno površine) in obseg gradbeno-tehničnih rešitev (potrebni finančni sredstev)

Načini vodenja:

- a) *Neprekinjeno vodenje* je takrat, ko vsi prometni tokovi pri direktni vožnji skozi križišče ohranijo lastnosti neprekinjenega prometnega toka. Primer neprekinjenega vodenja je priključevanje in cepljenje z AC. To pomeni, da se vse prometne operacije cepljenja, priključevanja in prepletanja izvedejo brez zaustavljanja. Tak način vodenja je možen, če so izpolnjeni naslednji pogoji:
 - prometni tokovi so približno enakih hitrosti
 - med zaporedno vozečimi vozili so zadostne časovne praznine
 - zagotovljena je zadostna preglednost
 - cepljenje in priključevanje se izvajata pod ostrim kotom
 - na konfliktnih površinah je možna le enosmerna vožnja.

Prednosti neprekinjenega vodenja so varno in tekoče potekanje prometa, kar omogoča visoke kapacitete, ter majhne časovne izgube.

Pomanjkljivosti pa so zahtevana visoka raven koncentracije udeležencev, velika nevarnost v primeru napačnih prometnih operacij ter veliki stroški izvedbe.

- b) Pri *prekinjenem vodenju* prometnih tokov dobijo vsi prometni tokovi v križišču lastnosti prekinjenega prometnega toka. To pomeni, da na uvozu v križišče vsi tokovi najprej zmanjšajo hitrost ali se celo ustavijo in šele nato sledijo druge prometne operacije. Primer takšnega vodenja je štirikrako križišče dveh enakovrednih cest.

Prednosti prekinjenega vodenja so varno potekanje prometa, zahtevana nižja raven koncentracije udeležencev, nižji stroški izvedbe.

Pomanjkljivosti pa so velike časovne izgube prometnega toka, majhna prepustnost ter nepotrebno zaustavljanje vozil na stranskih prometnih smereh.

- c) *Kombinirano vodenje* je v praksi najpogostejši način vodenja prometnih tokov. Pri tem načinu določeni prometni tokovi pri vožnji skozi križišče ohranijo lastnosti neprekinjenega prometnega toka (glavna prometna smer-GPS), drugi pa dobijo lastnosti prekinjenega toka (stranska prometna smer-SPS). Primer: semaforizirano križišče, pravilo desnega, prometni znak II-2.

Tudi ta način vodenja prometnih tokov ima svoje prednosti in sicer način vodenja posameznih prometnih tokov je v funkciji njihove pomembnosti ter konfliktne površine so majhne.

Pomanjkljivosti pa so občasno nepotrebno zaustavljanje vozil na stranskih prometnih smereh in zahtevana je večja koncentracija udeležencev v prometu.

2.2.5 Delitev nivojskih križišč

Nivojska križišča po obliki delimo na:

1. (*T*) *križišča*, pri katerem se stranska prometna smer pravokotno in enostransko priključuje na glavno prometno smer;
 2. (+) *križišča*, pri katerem se stranska prometna smer pravokotno in obojestransko seka oz. križa glavno prometno smer, pri čemer se potek glavne prometne smeri nadaljuje skozi križišče naravnost;
-

3. *krožna križišča* so kanalizirana križišča krožne oblike z nepovoznim, delno povoznim ali prevoznim središčnim otokom ter krožnim voziščem v katerega se steka tri ali več krakov cest in po katerem poteka vožnja nasprotno od smeri gibanja urinega kazalca. To so križišča s kombinacijo prekinjenega in neprekinjenega vodenja prometnega toka, v katerih glavna prometna smer predstavlja krožni prometni tok, stranska prometna smer pa prometni tokovi na uvozih in izvozi iz krožnega križišča.

Glede na število krakov jih delimo na:

- križišča s tremi kraki (trikraka);
- križišča s štirimi kraki (štirikraka);
- križišča z več kraki (večkraka (pet ali več)),

na kraku pa je vodenje prometa lahko dvosmerno ali enosmerno.

Križišča se ločujejo tudi po številu voznih pasov in potrebi po posebnih pasovih za leve in desne zavijalce.

Delitev križišč glede na lokacijo:

- križišča v naselju
- križišča izven naselja

2.3 KROŽNO KRIŽIŠČE

2.3.1 Lastnosti krožnih križišč

Posebnosti krožnih križišč

Posebnosti krožnih križišč, po katerih se razlikujejo od klasičnih nivojskih križišč, so:

- krožna križišča so križišča s kombinacijo prekinjenega in neprekinjenega prometnega toka,
 - prednost imajo vozila v krožnem toku pred vozili na uvozi v križišče (v krožnih križiščih torej ne velja "pravilo desnega"),
 - vozilo na uvozu v krožno križišče se, v primeru prostega krožnega vozišča, ne ustavlja temveč z zmanjšano hitrostjo uvozi v krožni tok,
 - majhna krožna križišča v urbanih območjih omogočajo le vožnjo z majhnimi hitrostmi in velikim zasučnim kotom prednjih koles,
-

- za pešce in kolesarje v krožnih križiščih veljajo enaka pravila kot v klasičnih križiščih,
- v krožnih križiščih je prepovedana (pa tudi nepotrebna) vzvratna vožnja,
- dolgim vozilom je dovoljeno tekom vožnje po krožnem vozišču uporabljati tudi neasfaltirani (tlakovani) del krožnega vozišča (povozni del središčnega otoka); za majhna vozila za to ni potrebe.

Prednosti in pomanjkljivosti

Prednosti krožnih križišč pred klasičnimi nivojskimi križišči so predvsem v njihovih naslednjih lastnostih:

- velika prometna varnost (manjše število konfliktnih točk kot pri klasičnih nivojskih križiščih, eliminacija konfliktnih točk križanja, nemogoča vožnja skozi krožno križišče brez zmanjšanja hitrosti...);
- možnost prepuščanja prometnih tokov velikih jakosti;
- manjši čakalni časi (kontinuiranost vožnje)
- manjši hrup in emisija škodljivih plinov;
- manjša poraba prostora (kot pri nivojskih s pasovi za zavijalce; pri enaki kapaciteti);
- dobra rešitev pri križanjih s približno enako jakostjo prometnega toka na glavni in stranski prometni smeri;
- dobra rešitev pri večkrakih križiščih (pet ali več);
- manjše posledice prometnih nesreč (ni čelnih trkov in trkov pod pravim kotom);
- manjši stroški vzdrževanja (kot pri semaforiziranih križiščih);
- dobra rešitev kot ukrep za umirjanje prometa v urbanih območjih;
- estetski videz.

Pomanjkljivosti krožnih križišč pa so:

- s povečanjem števila pasov v krožnem vozišču se raven prometne varnosti zmanjšuje (nasprotno od klasičnih nivojskih križišč);
 - zaporedna krožna križišča ne omogočajo sinhronizacije ("zelenega vala");
 - težave s pomanjkanjem prostora za izvedbo središčnega otoka v zazidanem območju;
 - prometa v krožnem križišču ni možno usmerjati s prometno policijo;
 - krožna križišča niso priporočljiva pred institucijami za slepe in slabovidne ter slušno motene, pred domovi za ostarele, bolnišnicami in zdravstvenimi domovi in na vseh drugih mestih, kjer nemotorizirani udeleženci v prometu zaradi svojih začasnih ali trajnih fizičnih prizadetosti ne morejo varno prečkati ceste brez svetlobnih signalnih naprav;
-

- velika krožna križišča niso priporočljiva pred otroškimi vrtci in šolami ter na drugih mestih z velikim številom otrok;
- problemi pri močnem kolesarskem in peš prometu, ki seka enega ali več krakov enopasovnega krožnega križišča;
- slaba rešitev pri močnem toku levih zavijalcev;
- naknadna semaforizacija ne vpliva bistveno na kapaciteto.

Za vsak primer posebej je potrebno presoditi primernost uvedbe krožnega križišča. Izvedba krožnih križišč je torej primerna in priporočljiva predvsem pri križanjih:

- v obliki X, Y, K (oster kot sekanja);
- večjega števila krakov (pet ali več);
- ki so posebej izpostavljena nastanku prometnih nesreč, katerih posledice so velike;
- ko so hitrosti na uvozi v križišče prevelike; - kjer se spremenijo pogoji vožnje (n.pr. na zaključkih hitrih cestnih odsekih, na uvozi v urbana področja, na izvozi z avtoceste);
- v primeru prevelikih hitrosti na glavni prometni smeri, ki ne omogoča varnega priključevanja vozil s stranske prometne smeri;
- kjer semaforizacija ni upravičena, je pa presežena kapaciteta nesemaforiziranega križišča;
- kot ukrep za umirjanje prometa.

2.3.2 Delitev krožnih križišč

a) Delitev krožnih križišč glede na lokacijo in velikost

V splošnem lahko razdelimo krožna križišča glede na lokacijo in velikost v naslednje skupine:

Preglednica 3: Delitev krožnih križišč glede na lokacijo in velikost

Tip krožnega križišča	Zunanji premer [m]	Okvirna kapaciteta [voz./dan]
Mini urbano	14 - 25	10.000
Majhno urbano	22-35	15.000
Srednje veliko urbano	30 - 40	20.000
Srednje veliko (enopasovno) izvenurbano	35 - 45	22.000
Srednje veliko (dvopasovno) izvenurbano	40 - 70	-
Veliko izvenurbano	> 70	-

Opomba: Okvirne kapacitete so le aproksimativne vrednosti za štirikraka krožna križišča z enakomerno porazdelitvijo prometnih tokov. V preglednici podane vrednosti so torej le informativne, pri reševanju konkretnih primerov pa je potrebno vsako krožno križišče prometno preveriti glede na dejanske prometne tokove in uporabljene projektno - tehnične elemente.

▪ **Urbana krožna križišča:**

Mini krožno križišče

Uporaba v strnjениh urbanih okoljih z namenom umirjanja prometa. Pričakovana hitrost vozil je do 25 km/h. Pri vodenju kolesarjev se uporablja vzporedno vodenje (ob zunanjem robu krožnega vozišča). Zaradi majhnih dimenzij mini krožnih križišč so ločilni otoki montažni in velikosti, ki so manjše od minimalnih dovoljenih za majhna in srednje velika krožna križišča. V primerjavi s klasičnim nesemaforiziranim križiščem ima mini krožno križišče praviloma večjo kapaciteto z neprimerno večjo varnostjo udeležениh v prometu, hkrati pa nizke stroške za izvedbo.

Majhno krožno križišče

Izvajajo se načeloma le v urbanih okoljih. Pričakovana hitrost vožnje skozi majhna krožna križišča je pod 30 km/h. Pri bolj obremenjenih majhnih krožnih križiščih se priporoča uporaba deniveliranih kolesarskih stez. Zelo pogosta uporaba tovrstnih krožnih križišč je na vhodih v manjša naselja, kjer poleg opozorila voznikom, da se spreminjajo pogoji vožnje, nudijo tudi neomejene možnosti krajinskega in arhitektonskega oblikovanja.

Srednje veliko krožno križišče

Načeloma se uporabljajo na bolj obremenjenih vozliščih v urbanih okoljih. Projektno-tehnični elementi morajo biti izbrani tako, da zagotavljajo maksimalne hitrosti vozil do 40 km/h. Velik poudarek je na vodenju pešcev in kolesarjev, ki so višinsko. ločeni od vozišča. Ločilni otoki omogočajo zadosten prostor za varovanje kolesarja med voznimi pasovi na uvozu/izvozu.

▪ **Izvenurbana krožna križišča:**

Srednje veliko krožno križišče

Izvajajo se izven urbanih središč, kjer ni za pričakovati veliko število pešcev in kolesarjev. Oblikovana so tako, da omogočajo maksimalno prepustnost uvozov ob primerni prometni varnosti (maksimalna hitrost 40 km/h).

Srednje veliko dvo pasovno krožno križišče Izvajajo se načeloma izven urbanih središč, kjer so prometne obremenitve velike.

Velika krožna križišča

Izvajajo se izjemoma, navadno na avtocestnih pristopih mestu. Projektiranje le-teh zahteva poseben pristop. Kolesarski in peš promet se vodi ločeno in ni sestavni del takih krožnih križišč.

b) Delitev krožnih križišč glede na namembnost

Po namembnosti ločimo tri osnovne tipe krožnih križišč:

- krožna križišča za umirjanje prometa: izvedba v urbanih in prehodnih območjih
- krožna križišča za omejevanje prometa: izvedba v urbanih območjih, kjer hočemo omejiti in z ustreznimi geometrijskimi elementi zagotoviti maksimalno dopustno ali vnaprej predpisano kapaciteto
- krožna križišča za zagotavljanje čim večje kapacitete pri zadostni varnosti: samo izven urbanih območij.

c) Delitev krožnih križišč glede na število krakov

Glede na število krakov ločimo krožna križišča:

- s tremi kraki,
 - s štirimi kraki,
 - s petimi in več kraki ...
-

d) Delitev krožnih križišč glede na število voznih pasov

Glede na število voznih pasov v vozišču ločimo:

- enopasovna krožna križišča
- dvopasovna krožna križišča
- večpasovna krožna križišča.

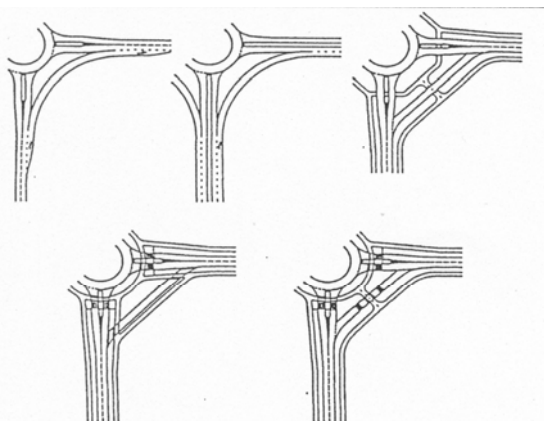
Število voznih pasov v krožnem vozišču mora biti vsaj enako številu voznih pasov na uvozih in izvozi iz krožnega križišča. Število pasov v krožnem toku je omejeno na največ tri. Dober kompromis med prepustnostjo in varnostjo krožnega križišča sta dva prometna pasova v krožnem toku.

e) Delitev krožnih križišč glede na vodenje posameznih smeri

▪ Nivojsko vodenje

Pri nivojskem vodenju krakov krožnega križišča poznamo dva načina vodenja voznih pasov priključkov:

- vodenje pasov v krožno križišče in
- vodenje pasov mimo krožnega križišča (direktno) (Slika 1)

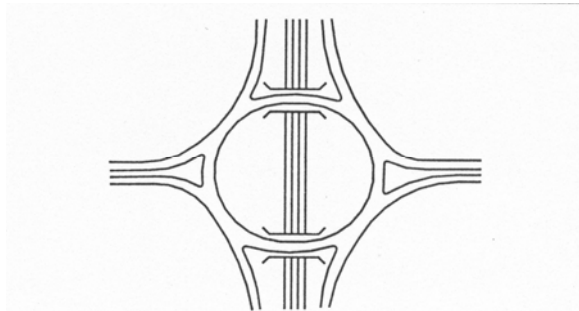


Slika 1: Vodenje pasov mimo krožnega križišča (direktno vodenje)

▪ Večnivojsko vodenje

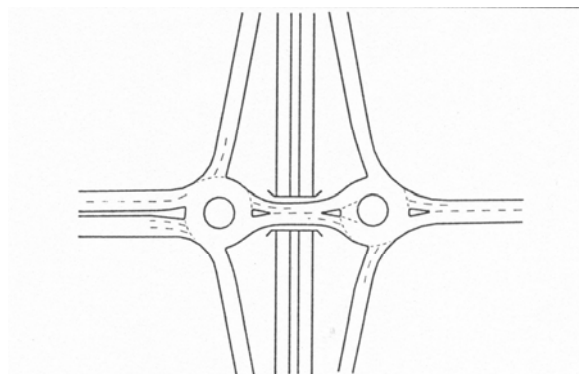
Pri izvennivojskem vodenju krakov krožnega križišča (npr. namesto diamanta) poznamo dva glavna tipa krožnih križišč:

- eden veliki (Slika 2)



Slika 2: Eden veliki

- dva majhna (Slika 3)



Slika 3: Dva majhna

3 PRIMERJAVA KAPACITET SEMAFORIZIRANIH IN KROŽNIH KRIŽIŠČ

Pri načrtovanju križišč se pogosto srečujemo z izbiro med zasnovo semaforiziranega križišča in krožnega križišča. Da bi se pravilno oziroma smotrno odločili si moramo odgovoriti na zelo pomembno vprašanje, in sicer, katera zasnova omogoča večjo kapaciteto. Do danes je bilo narejenih kar nekaj raziskav, ki podajajo ta odgovor. Zato je detajla primerjava teh dveh tipov križišč na mestu. Ta naloga primerja prepustnost krožnega križišča in semaforiziranega križišča s štirimi kraki simetričnega na center.

Težavnost primerjave kapacitet krožnih križišč in semaforiziranih križišč je v tem, da se za krožna križišča uporablja koncept kapacitete vseh uvozov v krožno križišče, za semaforizirana križišča pa število voznih pasov ali kapaciteta na uvozih. Ta dva koncepta nista enaka zato direktna primerjava kapacitet krožnih križišč in semaforiziranih križišč ni možna. Z namenom primerjave kapacitet krožnih križišč in semaforiziranih križišč mora biti uporabljen koncept kapacitete, ki zadosti kriterijem krožnih križišč in semaforiziranih križišč hkrati.

Poudariti je potrebno, da bo primerjava opravljena brez detajlnega upoštevanja geometrijske zasnove križišč in časov svetlobnih signalnih naprav. Upošteva se le naslednje osnovne podatke in sicer, število prometnih pasov na uvozih in število prometnih pasov v krožnem križišču, število in uporaba prometnih pasov na uvozih semaforiziranega križišča ter prometni tokovi na vseh smereh.

3.1 POLNA KAPACITETA KROŽNIH KRIŽIŠČ

Kapaciteta uvoza Q_E je definirana kot maksimalen uvozni tok vozil skozi en uvoz v časovni enoti, pri čemer je očitno, da je kapaciteta uvoza odvisna tudi od krožečega (konfliktnega) prometnega toka Q_g . Raziskave v Angliji, Franciji in Švici so pokazale, da je

$$Q_E = F - Q_g \cdot f,$$

kjer sta f in F soodvisna. Po enačbi TRRL (R.M. Kimber) je

$$Q_g = Q_{cir} \cdot$$

Enačba po CETUR in švicarskem vodniku za zasnovo krožnih križišč uporablja:

$$Q_g = \beta \cdot Q_{cir} + \alpha \cdot Q_s$$

kjer je:

- Q_{cir} – krožeči prometni tok mimo uvoza
- Q_s – prometni tok, ki zapusti krožno križišče pri predhodnem izvozu
- α – faktor, ki odraža delež vozil na uvozu porazdeljenih z izvoznimi vozili na istem kraku. Raziskave v Švici so pokazale, da je ta vrednost odvisna od razdalje med konfliktno točko uvoza in konfliktno točko izvoza.
- β - faktor v odvisnosti od števila prometnih pasov v krožnem križišču

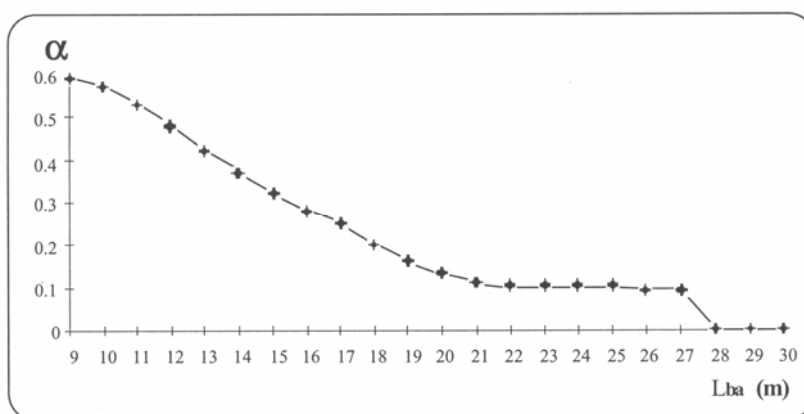
Za izpeljavo enačbe za polno kapaciteto krožnega križišča je uporabljena enačba iz švicarskega vodnika za zasnovo krožnega križišča:

$$Q_e = \kappa \left[1500 - \left(\frac{8}{9} \right) \cdot Q_g \right] \quad (2.1)$$

kjer je:

$$Q_g = (\beta \cdot Q_{cir} + \alpha \cdot Q_s)$$

α – določen s pomočjo diagrama na Sliki 4, kjer je L_{ba} razdalja med konfliktnima točkama x in y



Slika 4: Razmerje med α in L_{ba}

- κ : $\kappa = 1$ enopasovni uvoz
- $\kappa = 1,4 - 1,6$ dvopasovni uvoz
- $\kappa = 2$ tripasovni uvoz

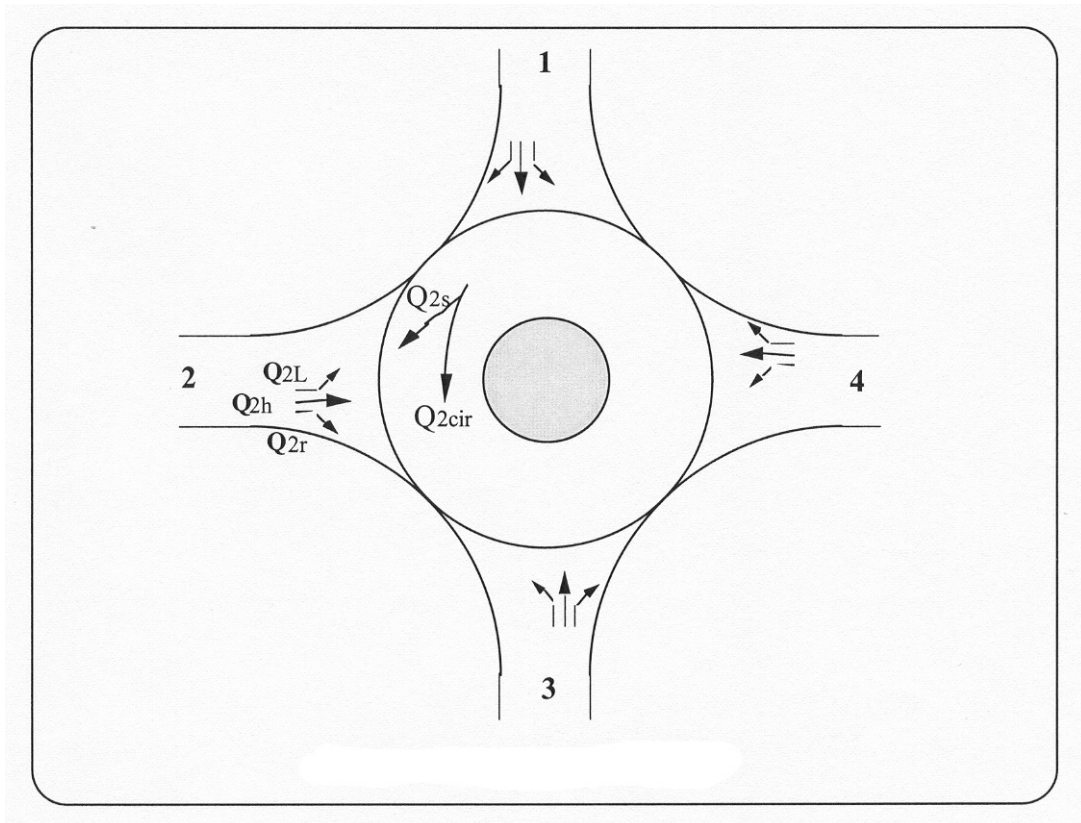
- β : $\beta = 0,9 - 1,0$ (0,9 – 1,0) enopasovno krožno križišče
 $\beta = 0,6 - 0,8$ (0,8 – 0,84) dvopasovno krožno križišče
 $\beta = 0,5 - 0,6$ (0,55 – 0,65) tropasovno krožno križišče

(v oklepajih so navedeni koeficienti kalibrirani na slovenske razmere)

Na splošno se kapaciteta uvoza pogosto uporablja za analize in ocene krožnih križišč. Z namenom primerjave kapacitet med krožnimi križišči in semaforiziranimi križišči bomo uporabili polno kapaciteto. Polna kapaciteta (Q_{fcr}) krožnega križišča je definirana kot maksimalni uvozni tok, ki ga krožno križišče lahko sprejme v polno zasičenih pogojih na vseh uvozih za dane smeri. V nadaljevanju bomo razvili enačbo za polno kapaciteto krožnega križišča.

Kot je prikazano na Sliki 5, predpostavimo da so na vsakem uvozu dolge kolone vozil (polno zasičeni pogoji), zavijajoča vozila pa so enakomerno porazdeljena na vseh uvozih in da je

- Q_{ir} – volumen (prometna obremenitev) desno zavijajočih na uvozu i (v / h)
 Q_{ih} – volumen vozil, ki vozijo naravnost na uvozu i (v / h)
 Q_{iL} – volumen levo zavijajočih na uvozu i (v / h)
 Q_r – skupni volumen desno zavijajočih v krožnem križišču (v / h)
 Q_h – skupni volumen vozil, ki vozijo naravnost v krožnem križišču (v / h)
 Q_L – skupni volumen levo zavijajočih v krožnem križišču (v / h)
 R_r – delež desno zavijajočih v krožnem križišču
 R_h – delež vozil, ki vozijo naravnost v krožnem križišču
 R_L – delež levo zavijajočih v krožnem križišču
 Q_{ie} – uvozni prometni tok uvoza i (prepustnost uvoza, v / h)
 Q_{ig} – konfliktni prometni tok uvoza i (v / h)
 Q_{icir} – krožeči prometni tok ob uvozu i (v / h)
 Q_{is} – zapuščajóci prometni tok pred uvozom i (v / h)
-



Slika 5: Prometni tok v krožnem križišču

Zaradi simetričnosti krožnega križišča so lahko za vse uvoze, uvozne kapacitete enake, prav tako faktorji κ , β in α zavzamejo enake vrednosti.

Tako je

$$Q_{ie}/\kappa + Q_{ig} \cdot f = F$$

kjer je

$$Q_{ig} = \beta \cdot Q_{icir} + \alpha \cdot Q_{is}$$

Zato lahko za uvoze 1, 2, 3 in 4 zapišemo:

$$Q_{1e}/\kappa + [\beta \cdot (Q_{3L} + Q_{4h} + Q_{4L}) + \alpha \cdot (Q_{4r} + Q_{3h} + Q_{2L})] \cdot f = F$$

$$Q_{2e}/\kappa + [\beta \cdot (Q_{4L} + Q_{1h} + Q_{1L}) + \alpha \cdot (Q_{1r} + Q_{4h} + Q_{3L})] \cdot f = F$$

$$Q_{3e}/\kappa + [\beta \cdot (Q_{1L} + Q_{2h} + Q_{2L}) + \alpha \cdot (Q_{2r} + Q_{1h} + Q_{4L})] \cdot f = F$$

$$Q_{4e}/\kappa + [\beta \cdot (Q_{2L} + Q_{3h} + Q_{3L}) + \alpha \cdot (Q_{3r} + Q_{2h} + Q_{1L})] \cdot f = F.$$

Seštejemo zgornje štiri enačbe in ugotovimo, da je:

$$\begin{aligned} Q_{fcr} &= Q_{1e} + Q_{2e} + Q_{3e} + Q_{4e} \\ Q_L &= Q_{1L} + Q_{2L} + Q_{3L} + Q_{4L} \\ Q_r &= Q_{1r} + Q_{2r} + Q_{3r} + Q_{4r} \\ Q_h &= Q_{1h} + Q_{2h} + Q_{3h} + Q_{4h} \end{aligned}$$

potem je

$$Q_{fcr}/\kappa + [\beta \cdot (Q_L + Q_h + Q_r) + \alpha \cdot (Q_r + Q_h + Q_L)] \cdot f = 4F.$$

Ker je

$$\begin{aligned} Q_L &= R_L \cdot Q_{fcr} \\ Q_h &= R_h \cdot Q_{fcr} \\ Q_r &= R_r \cdot Q_{fcr} \end{aligned}$$

in

$$R_r + R_h + R_L = 1$$

dobimo

$$Q_{fcr}/\kappa + Q_{fcr} [\beta \cdot (R_L + R_h + R_r) + \alpha \cdot (R_r + R_h + R_L)] \cdot f = 4F$$

oziroma

$$Q_{fcr} \cdot \{1/\kappa + [\beta \cdot (R_h + 2R_L) + \alpha] \cdot f\} = 4F$$

Iz tega sledi:

$$Q_{fcr} = 4F / \{1/\kappa + [\beta \cdot (R_h + 2R_L) + \alpha] \cdot f\} \quad (2.2a)$$

Iz enačbe je možno razbrati, da polna kapaciteta krožnega križišča ni odvisna samo od faktorjev α , β in κ , ampak tudi od porazdelitve izvora prometnega toka v krožnem križišču. Tako je možno relativno hitro zaključiti oz. ugotoviti, da večji kot je delež levih zavijalcev, nižja je polna kapaciteta ter da je eno levo zavijajoče vozilo ekvivalentno dvema voziloma, ki vozita naravnost. Tako lahko s skrbnim planiranjem prometne mreže, z zmanjševanjem deleža levih zavijalcev v krožnih križiščih, povečamo polno kapaciteto. Prav tako je razvidno, da je

pod določenimi prometnimi pogoji možno povečati kapaciteto (tako uvozno kot polno kapaciteto) le z modificiranjem zasnove krožnega križišča (spremembe vrednosti faktorjev α , β in κ)

Podobno lahko določimo enačbo polne kapacitete za krožno križišče s tremi kraki:

$$Q_{fcr} = 3F / \{1/\kappa + [\beta \cdot R_L + \alpha] \cdot f\} \quad (2.2b)$$

3.2 POLNA KAPACITETA SEMAFORIZIRANEGA KRIŽIŠČA

Predpostavimo, da ima semaforizirano križišče n_L uvoznih pasov in da so svetlobne signalne naprave kalibrirane tako, da so v času preprečene vse konfliktne situacije. V nadaljevanju uporabimo oznake za pas i , zasičeni prometni tok S_i (v / h), efektivni zeleni čas G_i (s), čas cikla C_L (s). prepustnost pasu i zapišemo kot:

$$C_i = S_i \cdot G_i / C_L = S_i \cdot G_{ri},$$

kjer je $G_{ri} = G_i / C_L$ delež efektivnega zelenega časa glede na dolžino cikla.

Polna kapaciteta Q_{fcs} semaforiziranega križišča je definirana kot maksimalni prometni tok (v / h), ki gre skozi križišče. Očitno je, da je ta definicija skoraj enaka definiciji za krožno križišče, tako da koncept polne kapacitete omogoča mero za primerjavo kapacitete krožnega križišča in semaforiziranega križišča.

Razvidno je, da je

$$Q_{fcs} = \sum S_i \cdot G_{ri} \quad (3.1)$$

Enačba kaže, da lahko pri semaforiziranem križišču s spreminjanjem G_{ri} spreminjamo kapaciteto pasu, s čimer se lahko prilagajamo različnim prometnim zahtevam (Q_i) za te pasove in s tem zagotovimo, da je kapaciteta $C_i > Q_i$. Po drugi strani pa je polna kapaciteta semaforiziranega križišča močno odvisna od števila uvoznih pasov. Več kot je uvoznih pasov, večja je kapaciteta.

Zavedati se moramo, da je G_i odvisen od števila faz in dolžine cikla. Če se faze delno ne prekrivajo lahko enačbo (3.1) zapišemo tudi takole:

$$Q_{fcs} = \sum \sum S_{ki} \cdot G_{rki}$$

kjer je: S_{ki} – zasičeni prometni tok

G_{rki} – delež efektivnega zelenega časa dolžine cikla uvoza pasu i v fazi k

Predpostavimo, da je delež efektivnega zelenega časa dolžine cikla za vsak uvoz enak in enak G_{rk} , potem:

$$Q_{fcs} = \sum [G_{rk} \cdot \sum S_{ki}]$$

Ker se S_{ki} nahaja na intervalu (1600, 1800), lahko zaradi poenostavitve predpostavimo, da je na vseh pasovih enak zasičeni tok S_{ki} , ki ga označimo s S , potem je:

$$Q_{fcs} = S \cdot \sum G_{rk} \cdot N_{Lk} \quad (3.2)$$

kjer je N_{Lk} število pasov v zelenem času v fazi k .

Če je v vsaki fazi N_{Lk} enak n , se enačba (3.2) poenostavi in zapiše kot:

$$Q_{fcs} = S \cdot n \cdot \sum G_{rk} \quad (3.3)$$

kjer je G_{rk} – totalni efektivni zeleni čas dolžine cikla na intervalu [0,7-0,9] in je odvisen od števila faz in dolžine cikla.

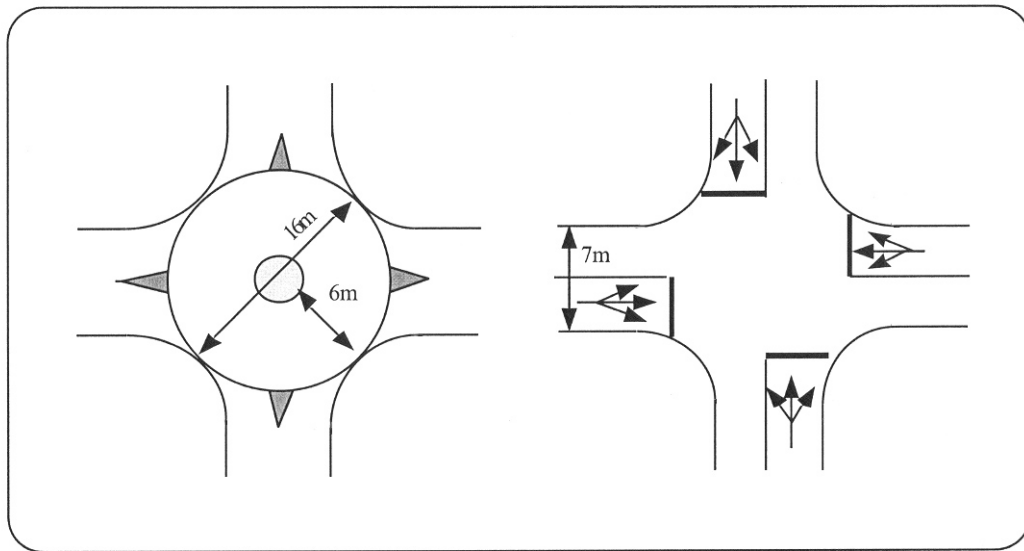
3.3 PRIMERJAVA POLNE KAPACITETE

Primerjava polne kapacitete krožnega križišča in semaforiziranega križišča mora biti izvedena pod enakimi pogoji. To pomeni, da morata imeti enako, primerljivo površino križišča in imeti morata enako izvorno prometno porazdelitveno matrico.

Primerjavo bomo opravili na štirih tipih križišč, in sicer mini-križišča, mala križišča, srednje velika križišča in velika križišča.

3.3.1 Mini-križišča

Mini-križišča imajo ponavadi samo en vozni pas na vsakem uvozu. Na Sliki 6 je prikazana geometrija krožnega križišča in semaforiziranega križišča za mini-križišča.



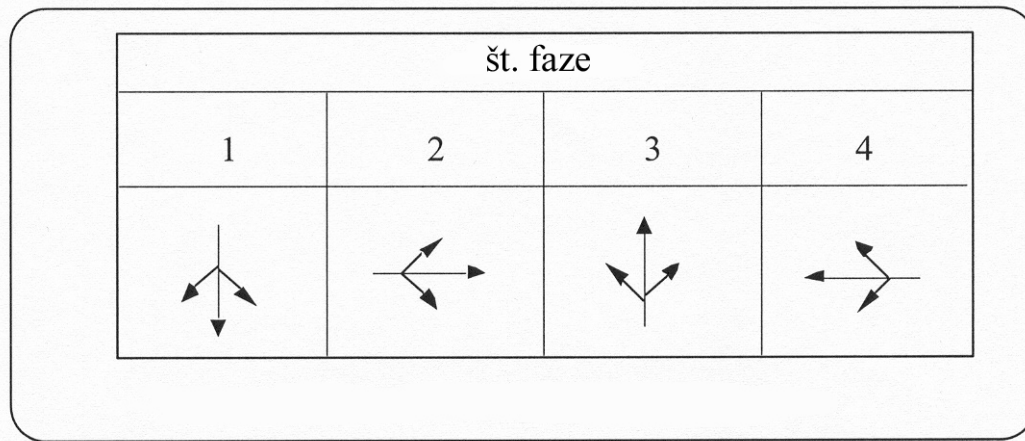
Slika 6: Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za mini-križišča

Za krožno križišče vzemimo $F = 1500$, $f = 8/9$ in v tem primeru $\kappa = 1$, $\beta = 1$ in $\alpha = 0.59$ ($L_{ba} = 9m$). Potem lahko za različni vrednosti R_h in R_L , z uporabo enačbe (2.2a) izračunamo polno kapaciteto krožnega križišča:

$$Q_{fcr} = 6000 / \{1 + [(R_h + 2R_L) + 0,59] \cdot (8/9)\}$$

Za določitev polne kapacitete semaforiziranega križišča s Slike 6 moramo upoštevati 4 vozne pasove in vsaj 4 faze, ki ločujejo konflikte v času. Predpostavimo, da so faze določene, kot prikazuje Slika 7 in da je očitno, da ima v vsaki fazi le en vozni pas zeleno luč. Predpostavimo $S = 1800$, $\Sigma G_{ri} = 0.78$, potem lahko po enačbi (3.3) določimo polno kapaciteto:

$$Q_{fcs} = S \cdot n \cdot \Sigma G_{rk} = 1800 \cdot 1 \cdot 0,78 = 1404$$



Slika 7:Zasnova faz za mini-križišča

Sedaj opravimo primerjavo polne kapacitete krožnega križišča in semaforiziranega križišča.

Predpostavimo $Q_{fcr} > Q_{fcs}$

potem

$$6000 / \{1 + [(R_h + 2R_L) + 0,59] \cdot (8/9)\} > 1404$$

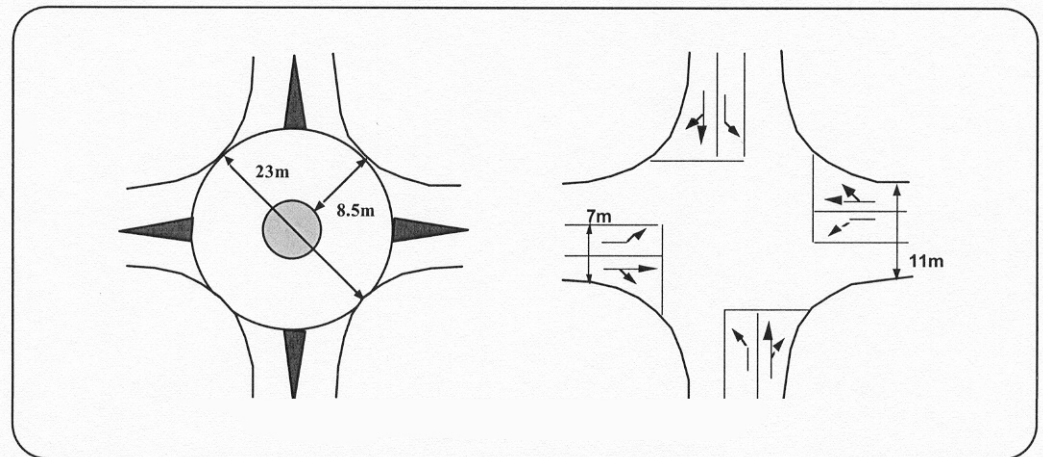
Z rešitvijo neenačbe je razvidno, da je lahko polna kapaciteta krožnega križišča večja od semaforiziranega križišča le, če je

$$R_h + 2R_L < 3.12$$

Ker je $R_r + R_h + R_L = 1$ in $R_L < 1$ je zgornja neenačba vedno izpolnjena. Zato je polna kapaciteta krožnega križišča vedno večja od semaforiziranega križišča za mini-križišča.

3.3.2 Majhna križišča

Pri tem tipu križišč sta na vsakem uvozu ponavadi dva vozna pasova. Na Sliki 8 je prikazana geometrija krožnega križišča in semaforiziranega križišča za majhna križišča.



Slika 8: Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za majhna križišča

Za krožno križišče vzemimo $F = 1500$, $f = 8/9$ in v tem primeru $\kappa = 1$, $\beta = 0.9$ in $\alpha = 0.32$ ($L_{ba} = 15$ m). Potem lahko za različni vrednosti R_h in R_L , z uporabo enačbe (2.2a) izračunamo polno kapaciteto krožnega križišča:

$$Q_{fcr} = 6000 / \{1 + [0,9 \cdot (R_h + 2R_L) + 0,32] \cdot (8/9)\}$$

Za določitev polne kapacitete semaforiziranega križišča s Slike 8 moramo upoštevati 8 voznih pasov in vsaj 4 faze, ki ločujejo konflikte v času. Predpostavimo, da so faze določene, kot prikazuje Slika 9, kjer je razvidno, da obstajata dva tipa faz in v vsaki fazi imata 2 vozna pasova zeleno luč. Predpostavimo $S = 1800$, $\Sigma G_{ri} = 0.78$, potem lahko po enačbi (3.3) določimo polno kapaciteto:

$$Q_{fcs} = S \cdot n \cdot \Sigma G_{rk} = 1800 \cdot 2 \cdot 0,78 = 2808$$

št. faze primer	1	2	3	4
A				
B				

Slika 9: Zasnova faz za majhna križišča

Sedaj opravimo primerjavo polne kapacitete krožnega križišča in semaforiziranega križišča.

Predpostavimo $Q_{fer} > Q_{fes}$

potem

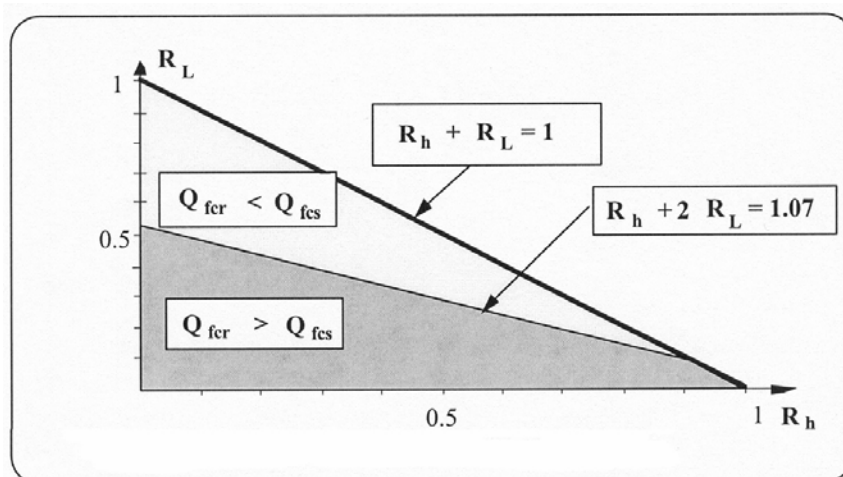
$$6000 / \{1 + [0,9 \cdot (R_h + 2R_L) + 0,32] \cdot (8/9)\} > 2808$$

Z rešitvijo neenačbe je razvidno, da je lahko polna kapaciteta krožnega križišča večja od semaforiziranega križišča le, če je

$$R_h + 2R_L < 1.07$$

kar sledi iz pogoja $Q_{fer} > Q_{fes}$.

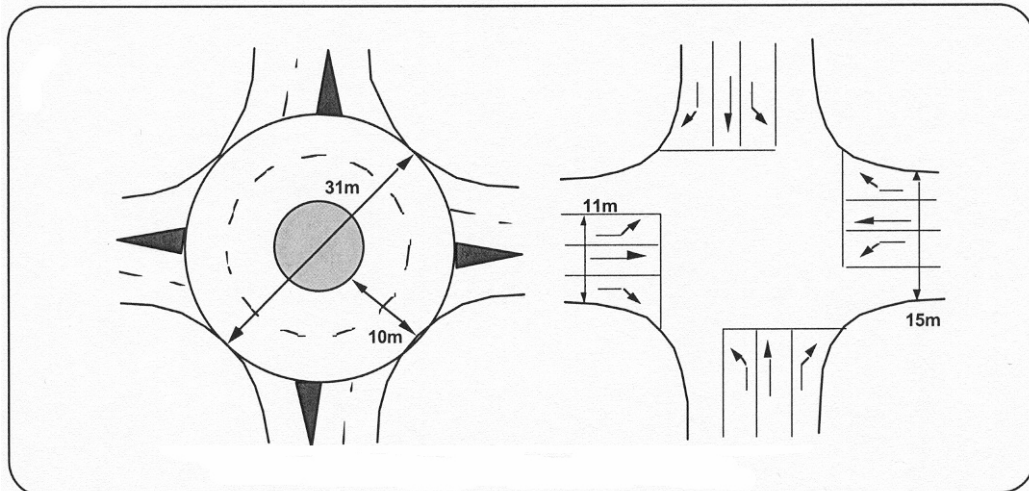
Slika 10 predstavlja grafično upodobitev tega pogoja. S primerjavo polne prepustnosti krožnega križišča in semaforiziranega križišča je relativno lahko ugotoviti, da je v večini običajnih primerov polna prepustnost krožnega križišča večja od polne prepustnosti semaforiziranega križišča.



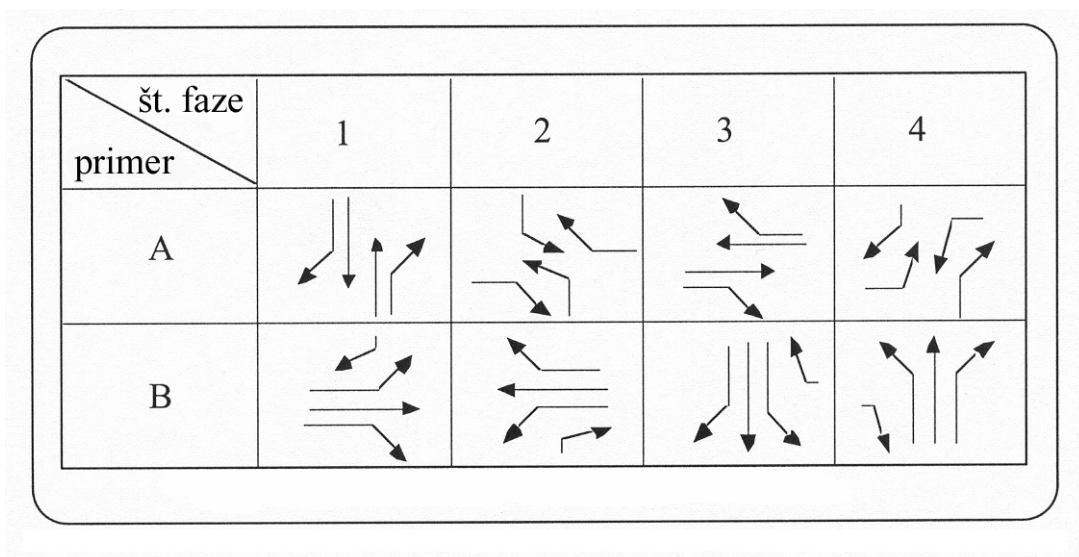
Slika 10: Primerjava polne kapacitete za majhna križišča

3.3.3 Srednje velika križišča

Pri tem tipu križiščne zasnove so na vsakem uvozu semaforiziranega križišča po trije vozni pasovi. Na Sliki 11 je prikazana geometrija krožnega križišča in semaforiziranega križišča za srednje velika križišča.



Slika 11: Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za srednje velika križišča



Slika 12: Zasnova faz za srednje velika križišča

Za krožno križišče vzemimo $F = 1500$, $f = 8/9$ in v tem primeru $\kappa = 1.4$, $\beta = 0.7$ in $\alpha = 0.16$ ($L_{ba} = 19$ m). Potem lahko za različni vrednosti R_h in R_L , z uporabo enačbe (2.2a) izračunamo polno kapaciteto krožnega križišča:

$$\begin{aligned}
 Q_{fcr} &= 4F / \{1/\kappa + [\beta \cdot (R_h + 2R_L) + \alpha] \cdot f\} \\
 &= 6000 / \{1/1,4 + [0,7 \cdot (R_h + 2R_L) + 0,16] \cdot (8/9)\}
 \end{aligned}$$

Za določitev polne kapacitete semaforiziranega križišča s Slike 11 moramo upoštevati 12 voznih pasov in vsaj 4 faze, ki ločujejo konflikte v času. Predpostavimo, da so faze določene, kot prikazuje Slika 12, kjer je razvidno, da obstajata dva tipa faz in v vsaki fazi imajo 4 vozni pasovi zeleno luč. Predpostavimo $S = 1800$, $\Sigma G_{ri} = 0.78$, potem lahko po enačbi (3.3) določimo polno kapaciteto:

$$Q_{fcs} = S \cdot n \cdot \Sigma G_{rk} = 1800 \cdot 4 \cdot 0,78 = 5616$$

Sedaj opravimo primerjavo polne kapacitete krožnega križišča in semaforiziranega križišča.

Predpostavimo $Q_{fer} > Q_{fcs}$

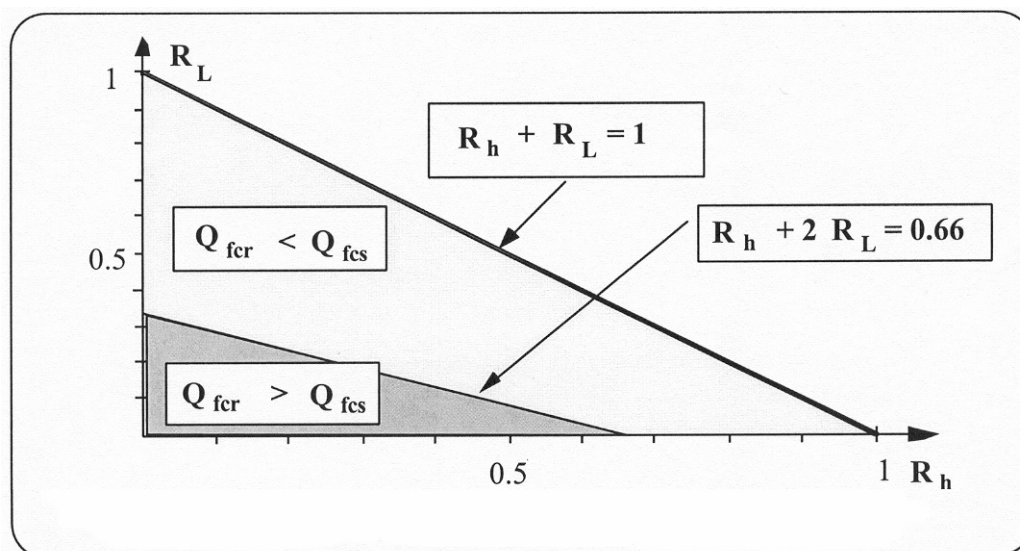
potem

$$6000 / \{1/1,4 + [0,7 \cdot (R_h + 2R_L) + 0,16] \cdot (8/9)\} > 5616$$

Z rešitvijo neenačbe je razvidno, da je lahko polna kapaciteta krožnega križišča večja od semaforiziranega križišča le, če je

$$R_h + 2R_L < 0.66$$

kar sledi iz pogoja $Q_{fer} > Q_{fcs}$.

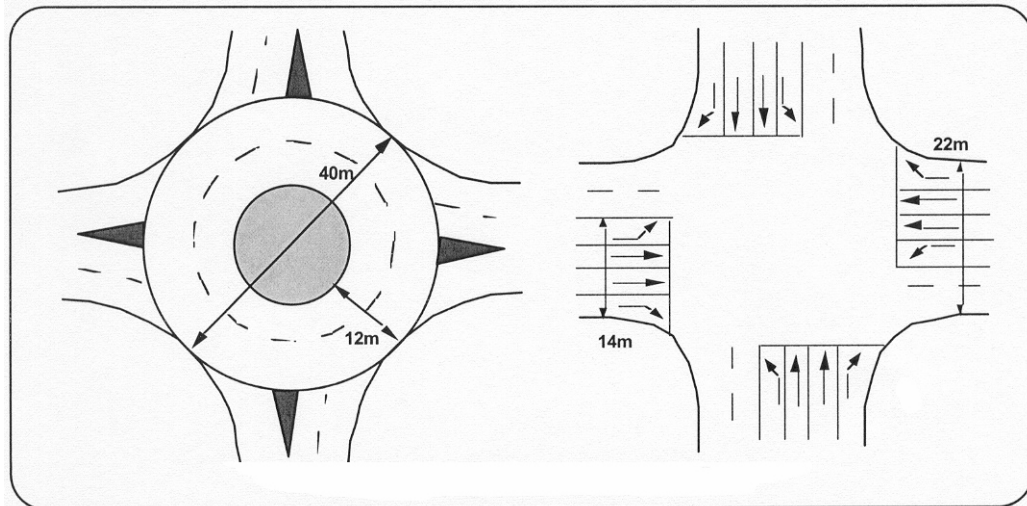


Slika 13: Primerjava polne kapacitete za srednje velika križišča

Slika 13 predstavlja grafično upodobitev tega pogoja. Iz slike je lepo razvidno, da je ponavadi polna kapaciteta semaforiziranega križišča večja od krožnega križišča. Polna kapaciteta semaforiziranega križišča je manjša od krožnega križišča le v primeru levih zavijalcev.

3.3.4 Velika križišča

Pri tem tipu križiščne zasnove je na vsakem uvozu semaforiziranega križišča po šest vozniških pasov. Geometrija takega semaforiziranega križišča in krožnega križišča je prikazana na Sliki 14 pri tej zasnovi križišč je poraba zemljišča skoraj identična.

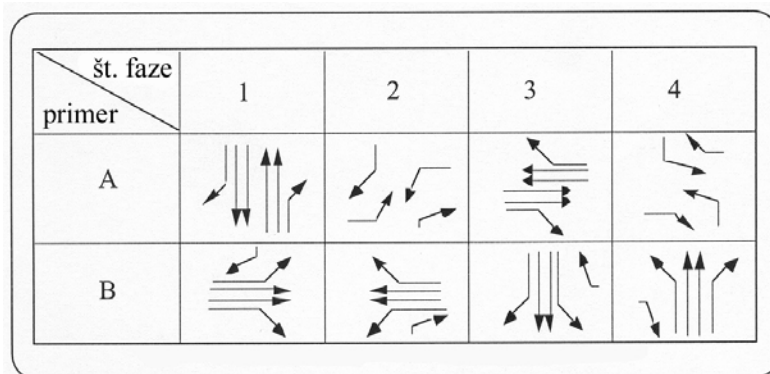


Slika 14: Zasnova krožnega križišča in semaforiziranega križišča za velika križišča

Za krožno križišče vzemimo $F = 1500$, $f = 8/9$ in v tem primeru $\kappa = 1.6$, $\beta = 0.6$ in $\alpha = 0.10$ ($L_{ba} = 23$ m). Potem lahko za različni vrednosti R_h in R_L , z uporabo enačbe (2.2a) izračunamo polno kapaciteto krožnega križišča:

$$\begin{aligned} Q_{fcr} &= 4F / \{1/\kappa + [\beta \cdot (R_h + 2R_L) + \alpha] \cdot f\} \\ &= 6000 / \{1/1,6 + [0,6 \cdot (R_h + 2R_L) + 0,10] \cdot (8/9)\} \end{aligned}$$

Za določitev polne kapacitete semaforiziranega križišča s Slike 14 moramo upoštevati 16 vozniških pasov na štirih uvozih in vsaj 4 faze, ki ločujejo konflikte v času. Predpostavimo, da so faze določene, kot prikazuje Slika 15.



Slika 15: Zasnova faz za velika križišča

Ostajata dva tipa faz in za vsako fazo se določi polna kapaciteta po naslednjem postopku:

PRIMER A:

V fazi 1 in 3 je 6 voznih pasov z zeleno lučjo, v fazi 2 in 4 pa 4 vozni pasovi z zeleno lučjo.

Predpostavimo $S = 1800$, $G_{ri} = 0.195$ ($i = 1$ do 4 zato $\Sigma G_{ri} = 0.78$), potem lahko po enačbi (3.2) določimo polno kapaciteto:

$$Q_{fcs} = S \cdot \Sigma G_{rk} \cdot N_{Lk} = 1800 \cdot 0,195(6 + 4 + 6 + 4) = 7020$$

PRIMER B:

V vsaki fazi je 5 voznih pasov z zeleno lučjo. Predpostavimo $S = 1800$, $\Sigma G_{ri} = 0.78$, potem lahko po enačbi (3.3) izračunamo polno kapaciteto:

$$Q_{fcs} = S \cdot n \cdot \Sigma G_{rk} = 1800 \cdot 5 \cdot 0,78 = 7020$$

Sedaj opravimo primerjavo polne kapacitete krožnega križišča in semaforiziranega križišča.

Predpostavimo $Q_{fcr} > Q_{fcs}$

potem

$$6000 / \{1/1,6 + [0,6 \cdot (R_h + 2R_L) + 0,10] \cdot (8/9)\} > 7020$$

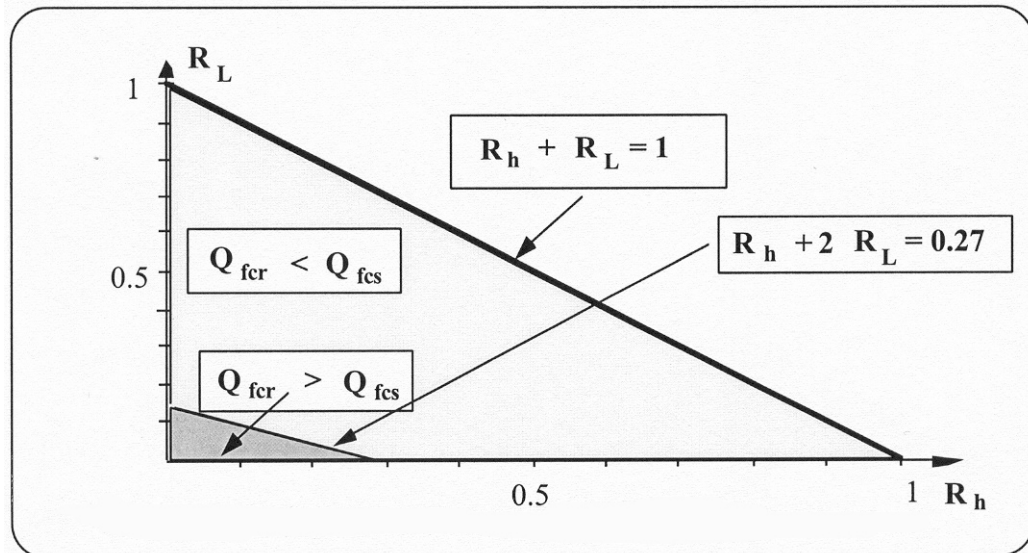
Z rešitvijo neenačbe je razvidno, da je lahko polna kapaciteta krožnega križišča večja od semaforiziranega križišča le, če je

$$R_h + 2R_L < 0.27$$

kar sledi iz pogoja $Q_{fcr} > Q_{fcs}$.

Takoj je razvidno, da v večini primerov zgornjemu pogoju ne moremo zadostiti.

Slika 16 je grafični prikaz tega pogoja. S slike je razvidno, da je v večini primerov polna kapaciteta krožnega križišča manjša od semaforiziranega križišča.



Slika 16: Primerjava polne kapacitete za velika križišča

3.3.5 Ugotovitve primerjave

Ugotovljeno je bilo, da je za dano geometrijsko zasnovo, polna kapaciteta krožnega križišča močno odvisna od porazdelitve izvora prometnega toka v križiščih in več kot je levih zavijalcev, manjša je kapaciteta krožnih križišč.

S primerjavo polnih kapacitet krožnih križišč in ustreznih-ekvivalentnih semaforiziranih križišč za mini-križišča, majhna križišča, srednje velika križišča in velika križišča smo prišli do naslednjih zaključkov:

- Mini-križišče*: polna kapaciteta krožnega križišča je vedno večja od semaforiziranega križišča
- Majhno križišče*: polna kapaciteta krožnega križišča je v veliki večini običajnih razmer večja od semaforiziranih križišč
- Srednje velika križišča*: polna kapaciteta krožnega križišča je večja od semaforiziranega križišča v primeru, da je delež levih zavijalcev in vozečih naravnost relativno nizek, v nasprotnem primeru je polna kapaciteta semaforiziranega križišča večja od krožnega križišča
- Veliko križišče*: polna kapaciteta krožnega križišča je v veliki večini običajnih razmer manjša od semaforiziranega križišča

4 PROGRAMSKO ORODJE aaSIDRA

aaSIDRA – aaTraffic Signalised & unsignalised Intersection Design and Research Aid

Programsko orodje SIDRA je med leti 1975-1979 razvil Rahmi Akcelik, ki je na trg prišla kot verzija SIDRA1. Verzija SIDRA 2 je bila izdana leta 1984. Po odkupu licence programskega orodja SIDRA je podjetje Akcelik & Associates Pty Ltd iz Avstralije v juliju 2000 izdalo novo verzijo aaSIDRA 1. Po nadgradnji leta 2002 v verzijo aaSIDRA 2 se je v letošnjem letu na trgu pojavila verzija aaSIDRA 2.1.

Programsko orodje aaSIDRA je med načrtovalci križišč zelo priljubljeno, kar dokazuje tudi podatek, da programsko orodje aaSIDRA uporablja več kot 1800 podjetij oziroma organizacij v 79 državah sveta. V Sloveniji je v uporabi 23 licenc (10. junij 2004).

aaSIDRA – aaTraffic Signalised & unsignalised Intersection Design and Research Aid, kar bi lahko prevedli kot »Programsko orodje za znanstveno raziskovanje in načrtovanje semaforiziranih in nesemaforiziranih križišč«. Programsko orodje aaSIDRA se torej uporablja kot pomoč pri načrtovanju in ocenjevanju naslednjih prometnih objektov:

- semaforizirana križišča (določen čas cikla ali programsko določen optimalni čas cikla)
- semaforizirani prehodi za pešce
- enotočkovni prehodi
- krožna križišča
- stop znak na neprednostni cesti
- stop znak na vseh smereh
- znak nimaš prednosti

aaSIDRA je napredno mikro-analitično orodje, ki s prometnimi modeli in z iterativno aproksimacijsko metodo omogoča ocene kapacitet in ostalih statistično pomembnih podatkov (zamude, dolžine kolon, število ustavljanj, itd.).

Programsko orodje aaSIDRA omogoča nastavljanje parametrov prometnih modelov glede na lokalne razmere oziroma pogoje. V ta namen ima aaSIDRA vgrajene potrebne vmesnike.

V aaSIDRA so načrtovalci vgradili združljivost s HCM 2000, ki vključuje tudi krožna križišča, ter z avstralskim AUSTROADS. Prav tako omogoča določitev strani vožnje (desna ali leva stran vožnje).

4.1 KAJ PROGRAMSKO ORODJE aaSIDRA OMOGOČA?

aaSIDRA lahko uporabljamo za:

- oceno kapacitete in ostale karakteristike kot so zamude, dolžine kolone, število ustavljanj, operativnih stroškov, porabo goriva in stopnjo onesnaževanja na vseh tipih križišč
- analizo več možnih oblik križišč za optimizacijo oblike križišča ter različne strategije ciklov;
- analizo križišč z do 8 krakov, kjer je na vsakem možen eno- ali dvosmerni promet, z enim ali več voznimi pasovi na uvozih, posebnih pasov
- določitev časa cikla za katerokoli geometrijo križišča od preprostih do kompliciranih faznih razporeditev;
- analizo ocene vpliva rasti prometa;
- analizo občutljivosti parametrov za optimizacijo, račun in geometrijsko načrtovanje križišč;
- načrtovanje oblike križišča z razvrstitvijo voznih pasov, kjer aaSIDRA analizira vsak vozni pas posebej;
- dimenzioniranje dolžine posebnih pasov;
- analizo vpliva težkih tovornih vozil na prepustnost križišč;
- analizo bolj kompliciranih primerov kombiniranih voznih pasov;
- analizo prekomerno zasičenih pogojev.

Pri uporabi aaSIDRA lahko:

- vhodne in izhodne podatke prikažemo v grafični obliki;
 - pridobimo izhodne podatke in rezultate za posamezne vozne pasove, posamezne smeri ter celotno križišče;
 - izhodne rezultate prikažemo v Preglednicah za posamezne parametre ali celotno vsebino;
 - v poročilih predstavimo podatke in rezultate v slikovni obliki in v obliki grafov;
 - občutljivostne analize za oceno sprememb parametrov zaradi spremembe geometrije križišča in obnašanja voznika;
-

- izračunamo letne vsote za operativne stroške, porabo goriva, emisije, skupne zamude, ustavljanja in predstavimo prednosti alternativne zasnove križišča;
- primerjamo ocene alternativnih kapacitetnih metod za krožna križišča
- kalibriramo parametre za operativne stroške glede na naše lokalne razmere.

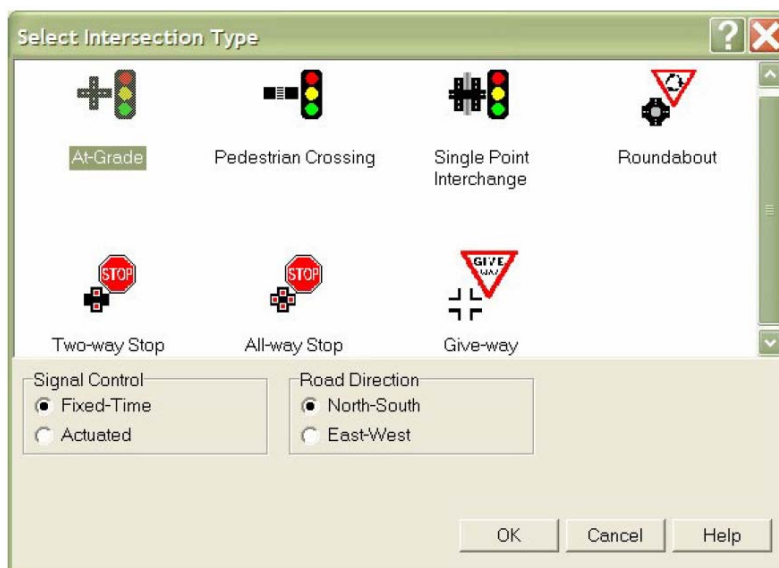
4.2 DELOVANJE IN UPORABA PROGRAMSKE OPREME aaSIDRA

4.2.1 Osnove programskega orodja aaSIDRA

Pri namestitvi programskega orodja aaSIDRA nam namestitveni program omogoči izbiro osnovnega modela, v katerem želimo delati. Izbiramo lahko med:

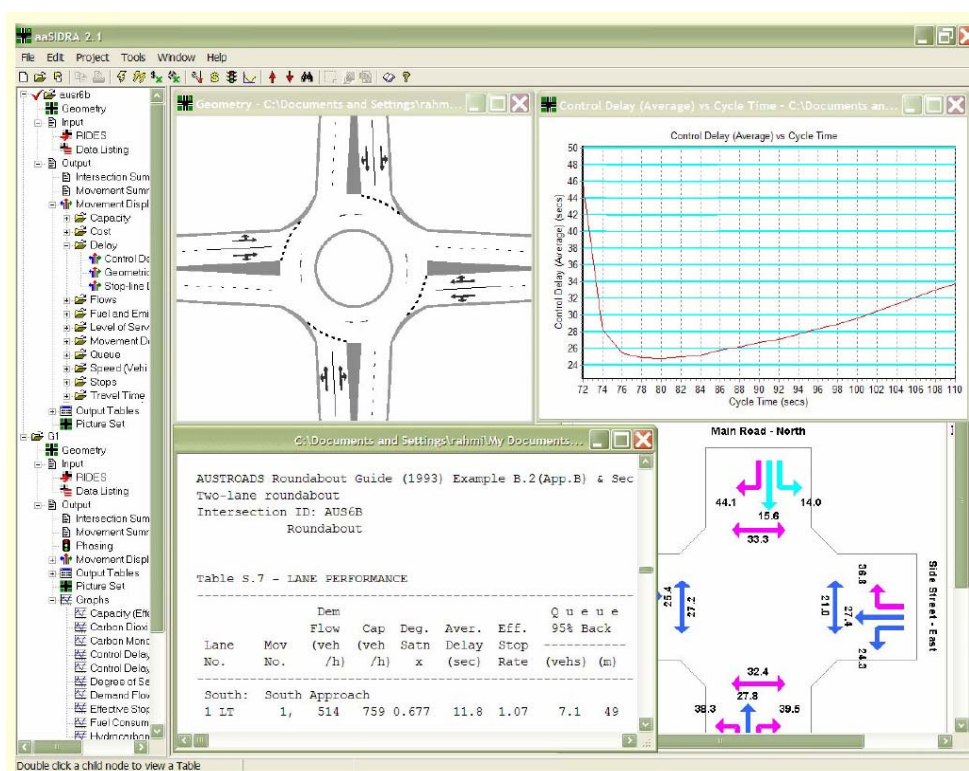
- Avstralski model (standardni model aaSIDRA), leva stran vožnje
- US HCM (metrične enote)
- US HCM (ameriške enote)
- Novozelandski model
- Standardni model aaSIDRA, desna stran vožnje

Ob zagonu, z dvojnim klikom na ikono aaSIDRA 2.1, odpremo okno aaSIDRA, ki nam ponudi dve možnosti, in sicer **Create a New Site** (Ustvari nov projekt) ter **Open an Existing File** (Odpri obstoječo datoteko). Ko se odločimo za nov projekt moramo v naslednjem koraku izbrati tip križišča (Slika 17), ime projekta in nato moramo pripraviti vhodne podatke z uporabo modula RIDES. Ko zapustimo modul RIDES, se začne obdelava podatkov z branjem vhodnih podatkov ustvarjenih v modulu RIDES in preverjanje morebitnih napak. Če so vhodni podatki brez napak, aaSIDRA računa naprej čase in kapacitete. Pojavijo se izhodni podatki in sicer v obliki tabel, grafiko nov in slik.



Slika 17: Okno za izbiro tipa križišča

V glavnem oknu (Slika 18) se v vrstici z meniji nahajajo *File*, *Edit*, *Project*, *Tools*, *Window* in *Help*. Največ pozornosti bomo namenili meniju Project in Tools, ostali meniji imajo namreč podobne funkcije kot v ostalih programih.



Slika 18: Glavno okno aaSIDRA

Meni *File* vsebuje standardne ukaze, kot ostali programi, in sicer *New*, *Open*, *Save As*, *Close*, *Close All*, *Delete Site Files*, *Print* in *Exit*.

Meni *Edit* vsebuje ukaze *Copy*, *Cut*, *Delete*, *Paste*, *Select All* in *Find Text*.

Meni **Project** vsebuje naslednje ukaze oziroma možnosti: **Process** (zažene model aaSIDRA za izbran primer), **Process Project** (zažene model aaSIDRA za vse primere, ki so trenutno odprti), **Annual Sums** (prenese rezultate analiz aaSIDRA v Excelove tabele), **Compare Roundabout Models** (prenese podatke in aaSIDRA analize krožnega križišča v Excelove tabele).

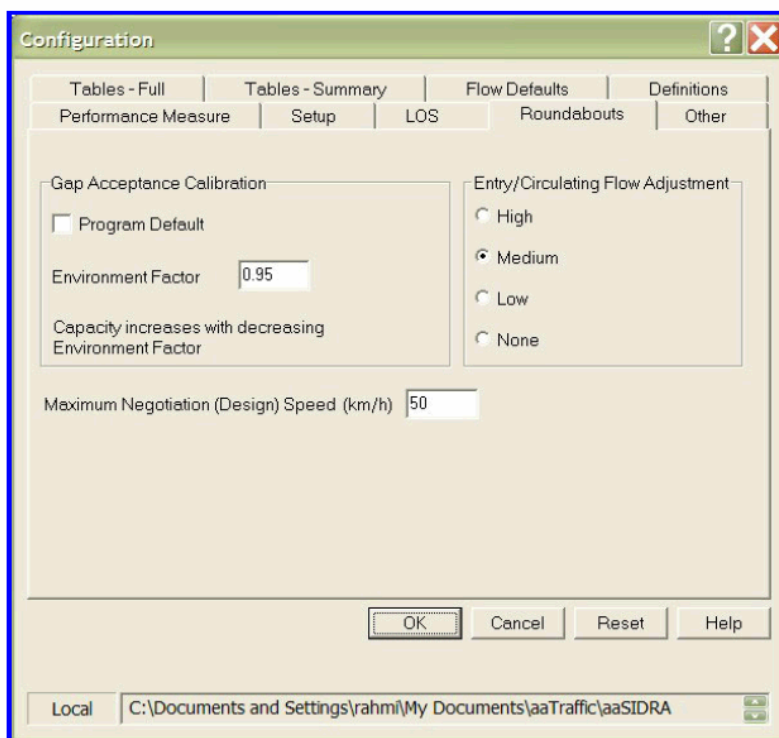
V meniju **Tools** pa se nahajajo naslednji ukazi: **Configuration** (nastavitve programa aaSIDRA), **Cost Parameters** (nastavitve parametrov za izračun stroškov), **Actuated Signal Defaults** (nastavitve parametrov za določitev signalnih ciklov), **Sensitivity Parameters** (nastavitve parametrov za občutljivostne analize) in **Options**.

Meni **Window** omogoča urejanje prikazovanja oken na zaslonu in meni **Help** vsebuje povezave do datoteke s pomočjo in na uradno stran programskega orodja aaSIDRA.

4.2.2 Osnovne nastavitve

Nastavitve programskega orodja aaSIDRA nastavimo, kot smo že omenili, v meniju **Tools**.

Nastavitev - Configuration:



Slika 19: Okno z nastavitvami

– *Mera za učinek (Performance Measure)*

Izmed danih možnosti kot so zamude, kolone, delež ustavljanj, stopnja zasičenosti, kapaciteta, stroški, gorivo ter razne emisije (CO₂, HC, CO, NO_x) izberemo tisto, za katero bi radi, daje mera za optimizacijo križišča.

– *Nastavitve (Setup)*

Spreminjamo lahko osnovni model (standardni model za vožnjo po levi, standardni model za vožnjo po desni, novozelandski model, ameriški HCM model z ameriškimi enotami in ameriški HCM model z metričnimi enotami) ter pravila, kot na primer dovoljeno zavijanje pri rdeči luči (Turn On Red).

– *Nivo uslug (LOS - Level of Service)*

Nivo uslug je lahko določen na osnovi zamud po metodi HCM, stopnje zasičenosti, zamud (HCM) in stopnje zasičenosti, zamud po metodi RTA NSW ali po metodi ICU

– *Tabele v izhodnih datotekah*

Uporabniki lahko določimo, katere tabele naj se izpišejo v izhodni datoteki.

– *Tok (Flow Defaults)*

Podamo čas celotnega toka, čas koničnega toka in faktor urne konice. Tukaj določimo tudi, na kakšen način bomo podali podatke o težkih vozilih (volumni ločeni za lahka in težka vozila, celotni volumen in odstotek težkih vozil ali celotni volumen in volumen težkih vozil).

– *Določitev zamud in kolon (Definitions – delay and queue)*

Izbiramo med zamudami zaradi načina vodenja prometa (control delay) in zamudami zaradi ustavljanj na stop črti (stop-line delay) ter med dolžinami kolon (back of queue) in povprečnimi kolonami na cikel (cycle-average queue).

– *Krožna križišča (Roundabouts)*

V tem zavihku spreminjamo parametre za nastavitve kapacitete krožnega križišča in oceno negotiation speeds

– *Ostalo (Other)*

Ta zavihek nam ponudi različne vrednosti parametrov, ki vplivajo na vse vrste križišč.

Stroškovni parametri (Cost Parameters)

Omogoča uporabniku, da nastavi operativne stroške modela na lokalne razmere. Podamo denarno enoto, ceno goriva, povprečno zasedenost vozil (oseb/vozilo), maso lahkih vozil in maso težkih vozil.

Parametri za semaforizirana križišča (Actuates Signal Default)

Določimo maksimalni zeleni čas, razmake med vozili in efektivno dolžino za naravnost vozeče in desne zavijalce (nadrejeni) ter za leve zavijalce (podrejeni), če upoštevamo vožnjo po desni strani.

Parametri občutljivosti (Sensitivity Parameters)

Podamo minimalno in maksimalno vrednost ter stopnjo povečevanja za čase semaforiziranih križišč (maksimalni zeleni čas), geometrijo križišča (širina vozišča, premer središčnega otoka pri krožnih križiščih) ter obnašanje voznikov (razmerje izkoriščenosti voznega pasu in čas sledenja).

4.2.3 Modul RIDES

Vhodne podatke za analizo križišč v programskem orodju aaSIDRA pripravimo z uporabo modula **RIDES (Road Intersection Data Editing System)**.

Na zaslonu se nam odpre RIDES v okolju DOS. V vrstici z meniji so:

- **Edit**, kjer podamo splošne podatke;
- **Extra Data**, kjer podamo dodatne podatke;
- **Help** za informacije o programu, uporabi programa, indeks ključnih poglavij in besed ter opis funkcij različnih tipk;
- **Save** za shranjevanje;
- **Exit** za izhod iz programa RIDES.

Menija *Edit* in *Extra Data* uporabimo za vnašanje podatkov analize. V meni *Edit* vnašamo naslednje podatke:

- Osnovni parametri (*Basic Parameters*): naslov, parametri prometnega toka, čas in drugi parametri, dodatne informacije;
-

- Križišče (*Intersection Geometry and Data*): geometrija križišča, podatki o križišču;
- Podatki krožnega križišča (*Roundabout Data*): podatki o krožnem križišču, podatki dovoznih pasov;
- Dostopna cesta (*Approaches*): opis in podatki dostopnih cest;
- Pasovi (*Lanes*): podatki o pasovih, skupni pasovi;
- Volumni (*Demand Volumes*): volumen vozil in pešcev;
- Prioritete in faze (*Phasing & Priorities*): opis faz in prioritet, vrstni red faz;
- Nasprotni zavijalci (*Opposed Turns*);
- Čas ciklusa (*Cycle Time*): podatki časa ciklusa;
- Rast prometnega toka (*Flow Scale*): podatki rasti prometnega toka;

V meni *Extra Data* pa vnašamo naslednje podatke:

- Opis gibanja (*Movement Description*);
- Podatki časov (*Timing Data*);
- Fazni časi (*Phase Times*);
- (*Green Split Priority*);
- Podatki za geometrijske zamude (*Geometric Delay Data*): radij, hitrost, razdalja;
- Podatki o gibanju 1 (*Movement Data 1*): hitrost, razdalja, prostor za kolono, faktor koničnega toka;
- Podatki o gibanju 2 (*Movement Data 2*); tip zavijanja, delež zasičenosti;
- Določitev skupin gibanja (*Define Mov. Groupings*): opisi skupin;
- Podatki za skupine (*Data for Groupings*): delež toka, podatki za gorivo, emisije in stroške;

4.2.4 Izračun križišča oziroma krožnega križišča s pomočjo modula RIDES

V nadaljevanju bodo opisani poglobljeni podatki in parametri, ki so potrebni za izračun križišča.

a) *Osnovni parametri (Basic Parameters)*

V meniju *Edit* odpremo ***Basic Parameters***, kjer na dveh straneh opišemo osnovne parametre. Na prvi strani vpišemo naslov in parametre prometnega toka (*Flow Parameters*), na drugi strani pa določimo čase pri semaforiziranih križiščih in druge parametre.

Parametri prometnega toka (*Flow Parameters*)

Čas celotnega prometnega toka (*Total Flow Period*), čas koničnega prometnega toka (*Peak Flow Period*) in faktor koničnega prometnega toka (*Peak Flow Factor*) so pomembni parametri, ki so povezani z izbiro določitve časa za analizo in vplivajo na rezultate.

Standardne vrednosti teh parametrov so:

- Čas celotnega prometnega toka = 60 min
- Čas koničnega prometnega toka = 30 min (15 min pri HCM verziji)
- Faktor koničnega prometnega toka = 95 % (92% v HCM verziji)

Čas celotnega toka (*Total Flow Period*) in čas koničnega toka (*Peak Flow Period*):

Čas celotnega prometnega toka (T) je trajanje celotnega časa opazovanja prometa. V programu izbiramo lahko med 5 in 1080 minutami, privzeto je 60 min. Če je v tem času značilna konica prometnega toka, to označimo s časom koničnega prometnega toka (T_p).

Razmerje prometnega toka na uro med celotnim časom in časom koničnega prometnega toka pa je faktor koničnega prometnega toka (PFF). Vendar pa se bolj uporablja *faktor konične ure* (*Peak Hour Factor - PHF*), ko je čas celotnega toka $T = 60$ min.

PFF določimo z naslednjo enačbo:

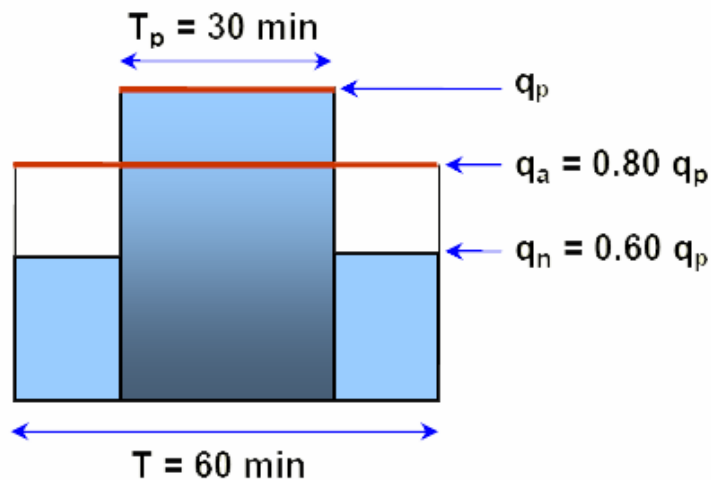
$$PFF = q_a / q_p$$

Kjer je:

- q_a - povprečni pretok vozil na uro v celotnem času T [voz/h]
- q_p - povprečni pretok vozil na uro v koničnem času T_p [voz/h]

Če podamo v oknu z volumni celotni volumen V_T na celotni čas opazovanja, program sam preračuna pretok q_a . Če je celotni čas enak eni uri, potem je $q_a = V_T$. V nasprotnem primeru je $q_a = 60 V_T / T$. Povprečni pretok vozil na uro v koničnem času pa je $q_p = 60 V_p / T_p$, kjer je V_p volumen prometa v koničnem času T_p .

Priporočljiva vrednost časa koničnega toka je T_p je od $0.25 T$ do $0.75 T$. Običajno je privzeto 30 min oz. pri metodi HCM 15 min. Primer za celotni čas 60 min in konični čas 30 min je na sliki 20.



Slika 20: Prikaz celotnega časa, časa koničnega toka in celotnega prometnega toka

Podatke o težkih vozilih (*Heavy Vehicle Data Option*) lahko podamo na različne načine:

- S – ločeno volumne za lahka in težka vozila
- P - kot odstotek težkih vozil od vseh vozil
- T - volumen vseh vozil ter volumen težkih vozil.

Definicija lahkih in težkih vozil (*Definition of Light and Heavy Vehicles*):

- Težka vozila – vozila z več kot dvema osema ali vozila z več kot dvema pnevmatikama na zadnji osi (tovorna vozila, avtobusi, ...)
- Lahka vozila – vsa ostala vozila (osebna vozila, kombiji, ...)

Faktor rasti prometa (*Flow Scale*) uporabimo pri analiziranju učinka rasti prometnega toka.

Vsi volumni so pomnoženi s tem faktorjem. Privzeta vrednost je 100 %.

Faktor rasti nasičenega prometnega toka (*Saturation Flow Scale*) podamo kot odstotek, s katerim pomnožimo vse zasičene prometne tokove.

Časovni in ostali parametri (*Timing and Other Parameters*)

Časovne parametre vpisujemo le v primeru semaforiziranega križišča.

Čas cikla (*Cycle Time*) podamo v sekundah. Če želimo, da program sam določi optimalni čas cikla vpišemo P. V tem primeru je potrebno vpisati *prirastek časa cikla* (*Cycle Time Increment*) za računanje časa cikla, podamo ga v sekundah od 1 do 10, privzeto 10.

Maksimalni čas cikla (Maximum Cycle Time) izbiramo med 10 in 1800 sekundami, privzeta vrednost je 120 sekund. Podati moramo tudi *vmesni čas (Intergreen Time)*. To je čas med dvema zelenima časoma, torej čas rumene in rdeče, privzeta vrednost je 5 sekund.

Faktor ustavljanj (Stop Penalty) pomnoži skupno število ustavljanj na sekundo za namen računanja indeksa učinka (Performance Index), število med 0 in 1000, privzeto 20.

Za prikaz izhodnih podatkov lahko izbiramo med celotnim prikazom izhodnih podatkov - **F** (*Full Output*) ali samo določenimi izhodnimi podatki - **S** (*Summary Output*).

Združevanje (Default Groupings) opišemo način združevanja. Privzeto je **Y** (Yes/da) - združevanje glede na uvozno cesto (approach road). Alternativno določi uporabnik sam.

Ocenjevanje zasičenosti prometnega toka (Saturation Flow Estimation) uporabljamo le za semaforizirana križišča. Upošteva konstanto, ki jo uporabnik vpiše pod Movement Data (2) v Extra Data.

b) *Geometrija in podatki križišča (Intersection Geometry and Data)*

V meniju *Edit* pod **Intersection**. vpisujemo podatke o geometriji križišča, in sicer število krakov (smere) križišča ter ostale osnovne podatke križišča.



Slika 21: Okno za določitev geometrije križišča

V oknu z geometrijo križišča se po krakih križišča pomikamo z **Alt_N** (naslednji) ali **Alt_P** (prejšnji) ter lahko dodajamo (**Alt_I**) ali brišemo (**Alt_D**) krake v križišču.

Podatki potrebni za opis križišča so opisani v nadaljevanju:

Številka križišča (Intersection Number) je pomembna pri modeliranju mreže križišč.

Število uvoznih pasov (Number of Approach Lanes) za vse krake križišča (med 1 in 9, za semaforizirana križišča privzeto 3, za nesemaforizirana pa 2). Število izvoznih pasov je enako kot število uvoznih pasov. Te vrednosti lahko v opisu posameznih uvoznih pasov še naknadno spreminjamo. Število pasov vsebuje tudi dodatne pasove za zavijalce.

Ob upoštevanju *pešcev (Pedestrians)* na uvoznih pasovih, ločimo celo prečkanje (Full crossing - **F**) ali prečkanje z vmesnim otokom (Staged crossing - **S**). V primeru, da pešcev ne upoštevamo, označimo z **N** (None).

Zavijanja pri rdeči (Turn On Red) v primeru dovoljenega desnega (pri vožnji po desni strani) označimo polje z **Y** (Yes), drugače z **N** (No).

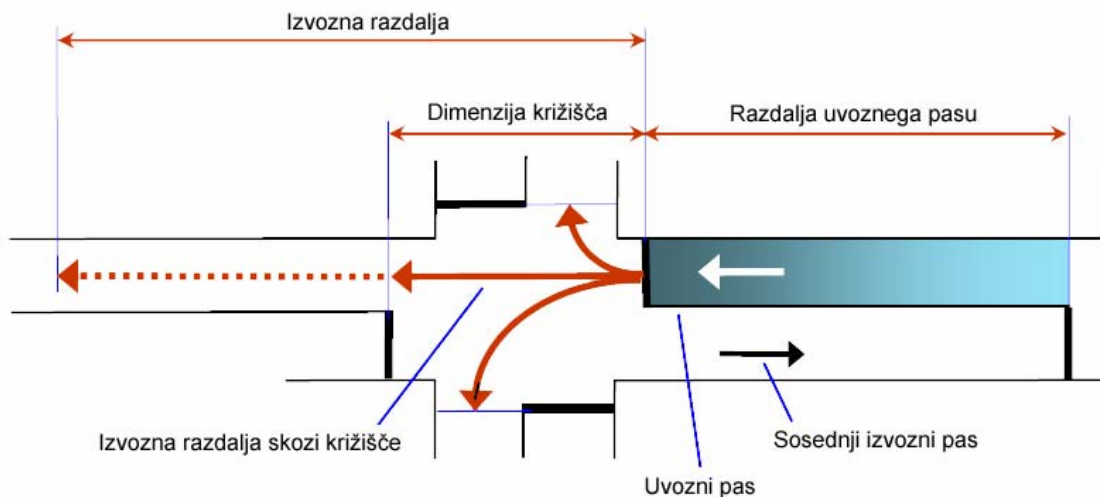
Odstotek težkih vozil (Percent Heavy Vehicles) - če smo v *osnovnih parametrih (Basic Parameters)* izbrali za opis težkih vozil odstotek, potem ta odstotek tukaj vpišemo v polje.

Širino voznega pasu (Lane Width) podamo za vse uvozne in izvozne smeri v centimetrih. Za semaforizirana in nesemaforizirana križišča izbiramo med 240 do 500 cm, za krožna križišča pa med 240 in 600 cm.

Osnovni zasičeni prometni tok (Basic Saturation Flow) podamo v enotah osebnih vozil na uro. Privzeta vrednost je 1900 eov/h.

Stopnjo zasičenosti (Practical Degree of Saturation) podamo v odstotkih: za semaforizirana križišča 90 %, za krožna križišča 85 % ter 80 % za ostala nesemaforizirana križišča.

Za razdaljo uvoznih pasov (Approach Distance) se upošteva razdalja od točke vstopa na obravnavano cesto do stop črte, kot je prikazano na sliki 22. Razdaljo podamo v metrih.

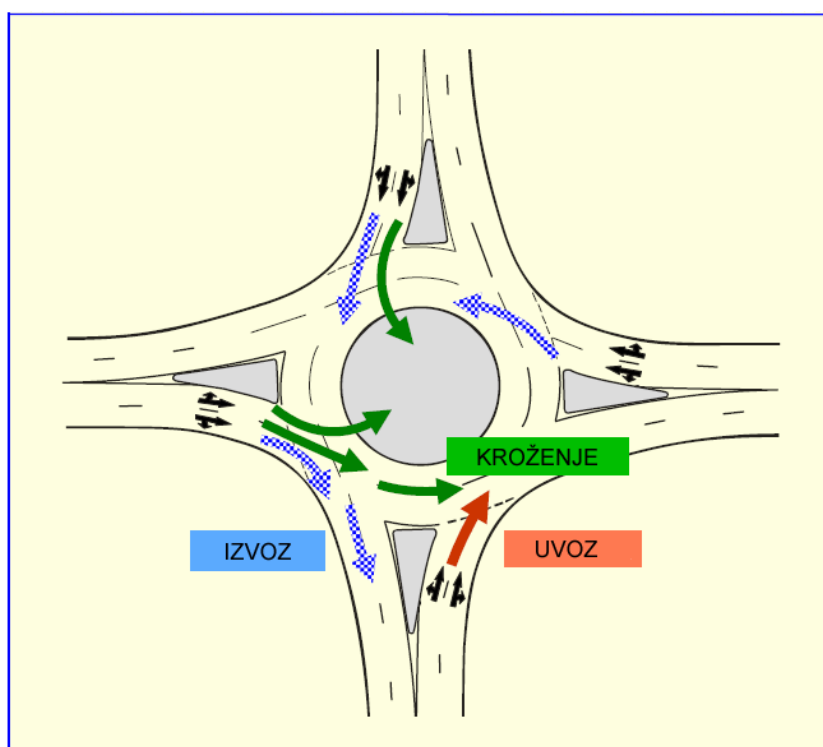


Slika 22: Definicija uvozne razdalje in ostalih parametrov

Za *hitrost (Speed)* upoštevamo tisto vrednost, pri kateri vozila nimajo zamud zaradi semaforjev, torej nemotena vožnja. Hitrost za vse uvozne in izvozne smeri podamo v km/h.

c) **Podatki krožnega križišča (Roundabout Data)**

Ob izbiri krožnega križišča kot obravnavanega križišča v modulu RIDES v meniju *Edit* pod **Roundabout Data** vpisujemo podatke o geometriji krožnega križišča.



Slika 23: Definicija uvozne razdalje in ostalih parametrov

Značilni podatki za krožna križišča (Specific Data to Roundabouts)

Značilni podatki za krožno križišče so prikazani v naslednji tabeli.

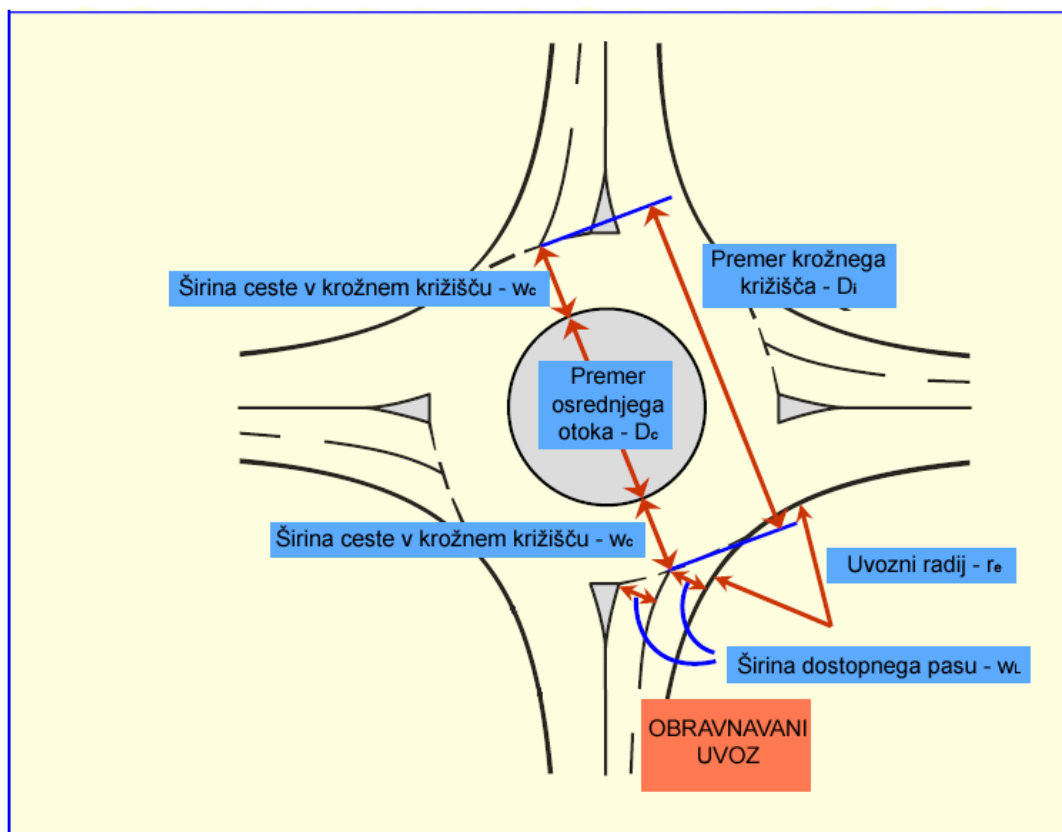
Preglednica 4: Podatki v aaSIDRA za krožna križišča

	Interval	Privzeto
Premer osrednjega otoka - D_c	4 – 250 m	30 m
Širina ceste v krožnem križišču - w_c	5 – 20 m	10 m
Število pasov v krožnem križišču - n_c	1 - 6	2
Dodatne združitve na uvozih	-50 % do +50 %	0

Premer krožnega križišča (*Diameter of the Roundabout - D_i*) dobimo kot vsoto premera osrednjega otoka (*Central Island Diameter - D_c*) in širine ceste v krožnem križišču (*Circulating Road Width - w_c*):

$$D_i = D_c + 2 \cdot w_c,$$

kjer so D_i , D_c in w_c podani v metrih.



Slika 24: Geometrijski parametri krožnega križišča

Število pasov v krožnem križišču (*Number of Circulating Lanes*) je v povezavi s širino ceste v krožnem križišču, saj aaSIDRA sam določi število pasov glede na širino (Preglednica 5). Omogočeno je tudi, da uporabnik sam popravi število pasov.

Preglednica 5: Odnos med širino ceste v krožnem križišču in številom voznih pasov

Širina ceste v krožnem križišču - w_c (m)	Število voznih pasov v krožnem križišču
$4 \leq w_c \leq 10$	1
$10 \leq w_c \leq 15$	2
$15 \leq w_c \leq 20$	3

Namen parametra *dodatne združitve (Extra Bunching)* je prilagoditi razmerje prostih vozil glede na neposredno bližino nastajajočega prometnega toka semaforiziranega križišča. Parameter podamo v odstotku od -50 % do +50 %, kjer je na primer pri razdalji od semaforja manj kot 200 m vrednost +20 %, pri razdalji več kot 2000 m pa -20%.

d) *Dostopne ceste (Approaches)*

V meniju *Edit* pod *Approaches* opišemo dostopne ceste do križišča. Podatke vpisujemo za vsako cesto (krak) posebej. Večina podatkov je že vpisanih, saj so vrednosti privzete že iz podatkov o križišču.

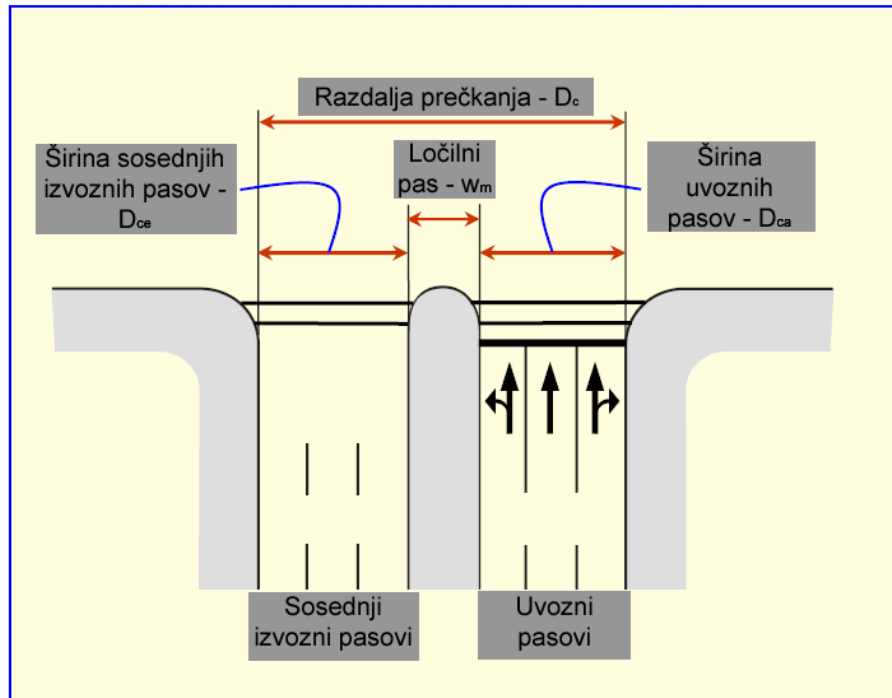
Ime ceste ali ulice (Approach Name) lahko poimenujemo po imenu ulice ali pa kar po smeri iz katere prihaja.

Število dovoznih in izvoznih pasov (*Number of Approach and Exit Lanes*) na obravnavani smeri. Število vsebuje tudi kratke pasove za zavijalce. Če je cesta enosmerna, potem v primeru enosmerne dostopne ceste vpišemo pod število izhodnih pasov 0, v primeru enosmerne izhodne ceste pa pod število uvoznih pasov vpišemo 0.

Širino ločilnega pasu ali sredinskega otoka w_m (*Median Width*) podamo, če je med uvoznim pasom in izvoznim pasom na obravnavani smeri ločilni pas. Širino podamo v centimetrih, pri čemer širina ne more biti manjša od 50 cm. Če ločilnega pasu ni, potem vpišemo N.

Za prečkanje *pešcev (Pedestrians)* na obravnavani smeri, ločimo celo prečkanje (*Full crossing - F*) ali prečkanje z vmesnim otokom (*Staged crossing - S*). V primeru, da

pešcev ne upoštevamo označimo z N (*None*). V primeru prečkanja pešcev, program RIDES izračuna, glede na število voznih pasov in širine sredinskega otoka, razdaljo prečkanja za pešce D_c (*Pedestrian Crossing Distances*) (Slika 25). Ta razdalja se potrebuje za računanje minimalnega zelenega časa za pešce.



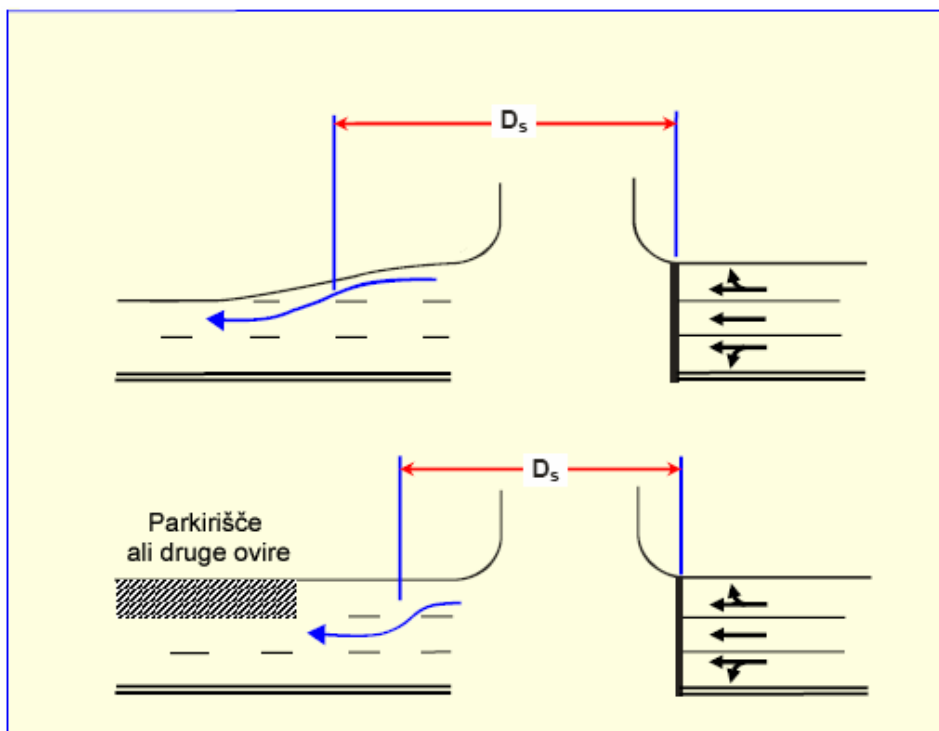
Slika 25: Razdalja prečkanja pešcev

V primeru prečkanja celotne ceste je razdalja kar vsota širin vseh voznih pasov ter ločilnega pasu.

$$D_c = D_{ca} + D_{ce} + w_m \quad (3.3)$$

Pri prečkanju z upoštevanjem sredinskega otoka se širini uvoznih pasov in izvoznih pasov (D_{ca} , D_{ce}) upoštevata ločeno.

Pas za priključevanje (Downstream Short Lane Length) se nahaja na izvozni smeri semaforiziranega križišča. Dolžino D_s tega pasu podamo v metrih. Če tega pasu ni, potem vpišemo N. Merjenje razdalje je razvidno iz Slike 26.



Slika 26: Dolžina pasu za priključevanje

Na naslednji strani podatkov o dostopnih cestah se nahajajo podatki, ki so v večini že opisani v podatkih križišča (*Intersection*), zato tukaj ne bodo še enkrat opisani. Razlika je le v tem, da je zdaj potrebno podatke vpisati za vsako cesto posebej.

Vzdolžni nagib ceste (Approach Grade) podamo odstotku med -15% in 15%, privzeto 0%. Negativna vrednost pomeni klanec navzdol proti križišču, pozitivna pa klanec navzgor proti križišču.

Vodenje prometa in koordinacijo (Approach Control, Coordination) podamo z naslednjimi parametri:

- Nesemaforizirana križišča:
 - glavne ceste označimo s **P** (*Priority*)
 - ostale ceste pa označimo odvisno od izbire križišča na začetku: znak nimaš prednosti (*Give way* ali *Yield*) oznaka **G** ali **Y** ter stop znak oznaka **S**
 - v krožnem križišču, označimo vse smeri z **R**

- Semaforizirana križišča:
 - pri vnaprej določenem času (*Pretimed* - **P** oziroma *Fixed-Time signals* - **F**)
 - v primeru prometno odvisnega vodenja prometa, program sam določi čas (*Actuated signals*), označimo z **A** oziroma (*Non-Actuated Signals*)

- vsa semaforizirana križišča so lahko koordinirana ali pa ne. Označimo s **C** (*Coordinated*) ali z **N** (*Non - Coordinated*)

Način prihodov (Arrival Type) upoštevamo samo pri semaforiziranih križiščih. Podamo parameter od 1 do 6, privzeto 3 ali pa kot odstotek prometa, ki prihaja med zelenim časom (med 10% in 95%). Če križišče ni koordinirano (**N**), potem je privzeta vrednost 3, za ostale primere pa je potrebna oznaka koordinacije **C**. Načini prihodov vozil so razvidni iz Preglednice 6.

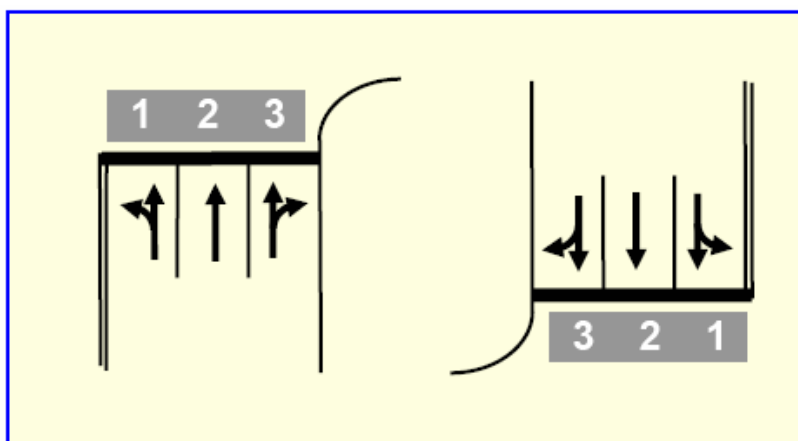
Preglednica 6: Načini prihodov vozil

Koda	Opis prometa
1	Gost promet, ki prihaja v začetku rdeče luči
2	Zmeren promet, ki prihaja v sredini rdeče luči
3	Naključni prihodi
4	Zmeren promet, ki prihaja v sredini zelene luči
5	Gost promet, ki prihaja v začetku zelene luči
6	Zelo gost promet

e) **Vozni pasovi (Lanes)**

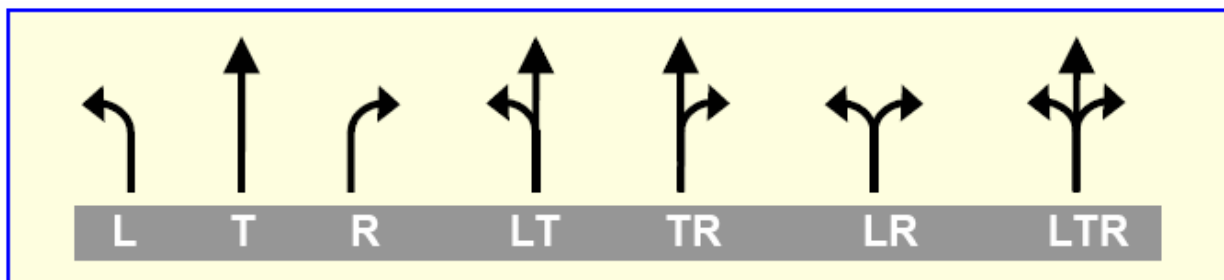
Podatke za opis karakteristik voznih pasov na uvoznih cestah vpisujemo v meniju *Edit* pod **Lanes**.

Oštevilčenje pasu (Lane Numbering) se izvede avtomatsko od leve proti desni, če gledamo v smeri vožnje proti križišču na uvozni cesti.



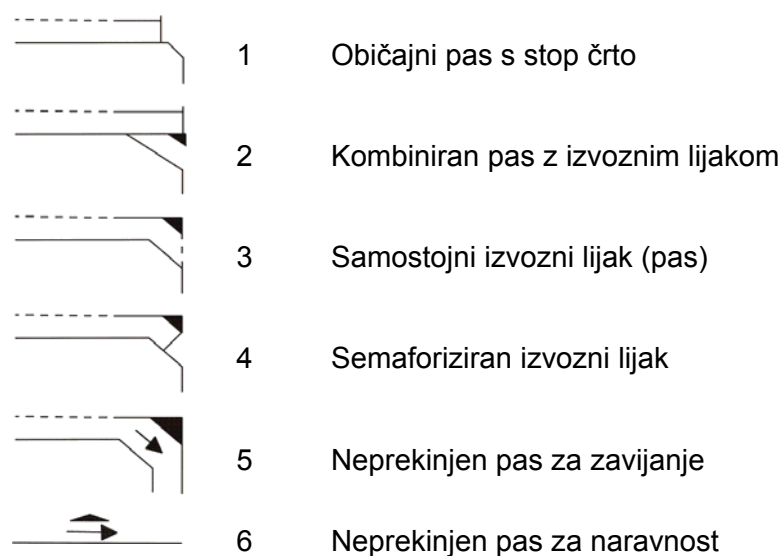
Slika 27: Številčenje voznih pasov v aaSIDRA

Z oznakami na pasovih (*Lane Discipline*) določimo, katere smeri (L – Left/leva, R – Right/desna, T – Trough/naravnost) so dovoljene na določenem pasu. Kombinacije oznak so prikazane na Sliki 28.



Slika 28: Oznake za smeri na voznih pasovih v aaSIDRA

Za *tip pasu (Lane Type)* izberemo med kodami od 1 do 6, prikazanimi na Sliki 29.



Slika 29: Tipi pasov

Kratke dodatne pasove (Short Lanes), ki jih običajno uporabljamo za zavijalce, označimo poleg številke tudi s črko **S** oziroma v primeru, če se pas nadaljuje v parkirišče s črko **P**.

Dolžino kratkega dodatnega pasu (Short Lane Length) podamo v metrih v razponu med 5 m in 500 m, privzeta dolžina je 50 m.

Podatke o *širini pasu (Lane Width)* in *osnovnem zasičenem toku (Basic Saturation Flow)* podamo podobno kot pri podatkih o dostopnih cestah, le da tokrat podamo podatke za vsak pas posebej.

Faktor izkoriščenosti pasu (Lane Utilisation Ratio) podamo v odstotku med 1% in 100%. Privzeta vrednost je 100 %. – polna izkoriščenost pasu.

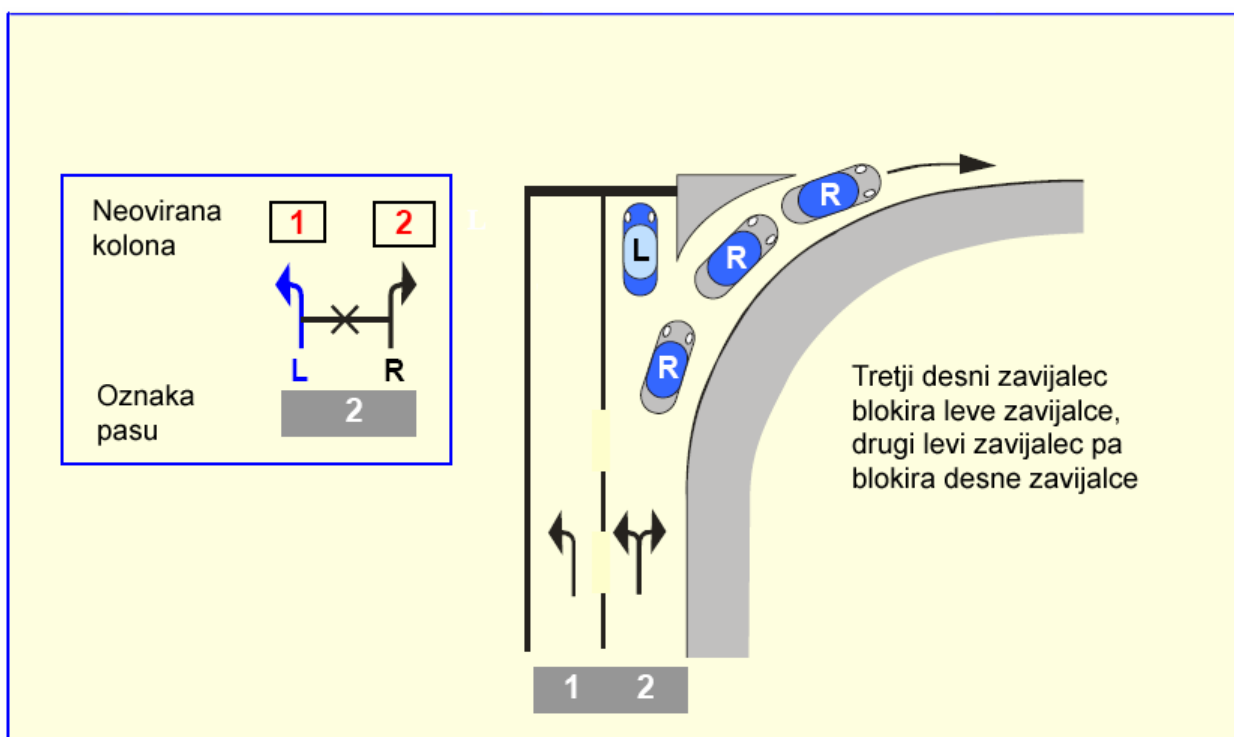
Omejenost zelenega časa za kratke dodatne pasove (*Green Time Constraint for Short Lane*) je pomembna zaradi doseganja maksimalne kapacitete kratkih dodatnih pasov. Na voljo so naslednje možnosti:

- F - samo prvi zeleni čas (*First green period only*)
- S - samo drugi zeleni čas (*Second green period only*)
- B - oba zelena časa (*Both green periods*)
- N - za ničesar (*Not applicable*)

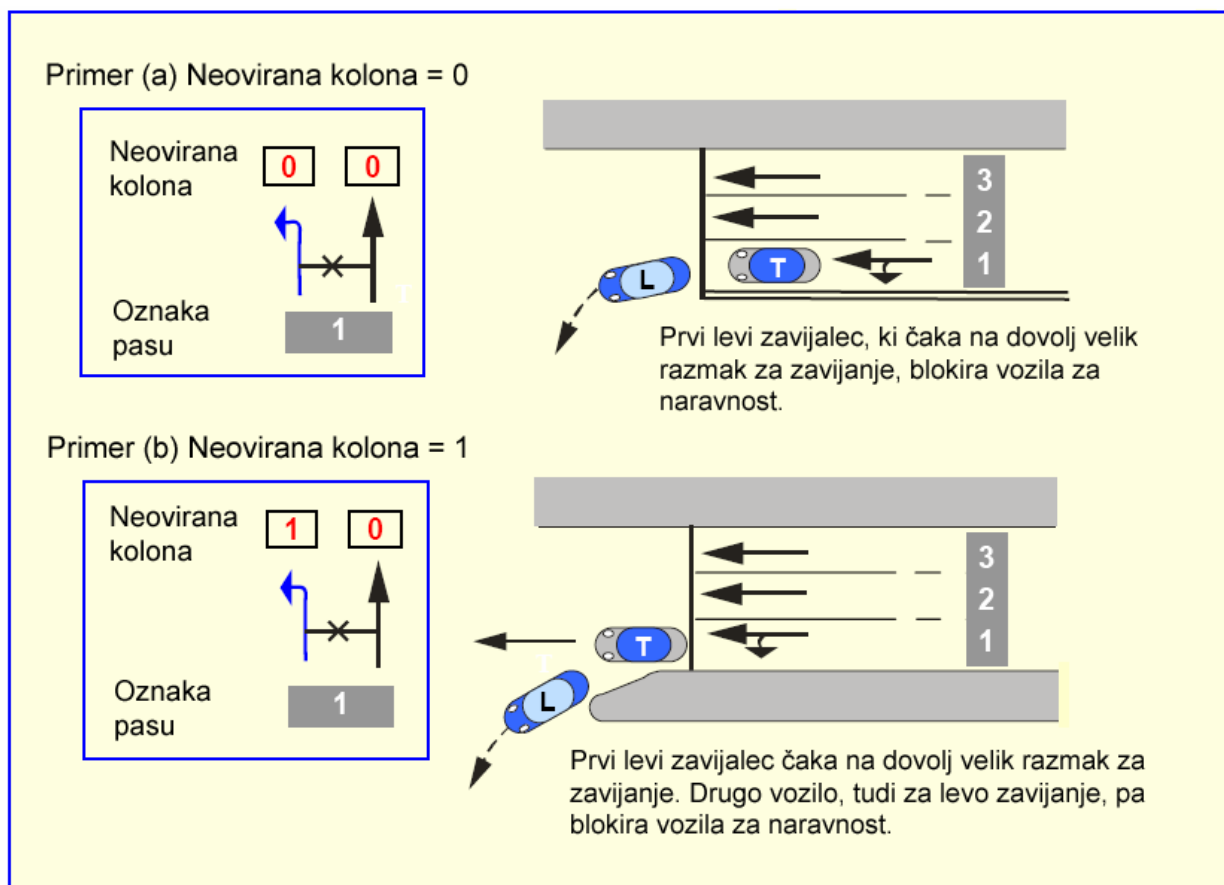
Število parkiranj na uro (*Number of Parking Manoeuvres per Hour*) podamo v primeru prisotnosti parkirišč ob cesti ali avtobusne postaje v neposredni bližini križišča. Število je med 0 in 180, privzeto je N, kot *Not applicable*.

Število ustavljanj avtobusov na uro (*Number of Buses Stoppnig per Hour*) med 0 in 250, če tega vpliva ni, potem napišemo N.

Pri voznih pasovih, kjer je več možnih smeri zavijanja (*Shared lane*), je potrebno podati število avtomobilov v vrsti (*Free Queue*), ki še ne ovirajo prometa/vozila za njim, ki gre v drugo smer po istem voznem pasu (v razponu med 0 in 20, privzeto 0). To uporabljamo je pri semaforiziranih križiščih. Primeri so vidni na Slikah 29 in 30.



Slika 30: Primer kolone pri desnih zavijalcih



Slika 31: Primer kolone pri levih zavijalcih

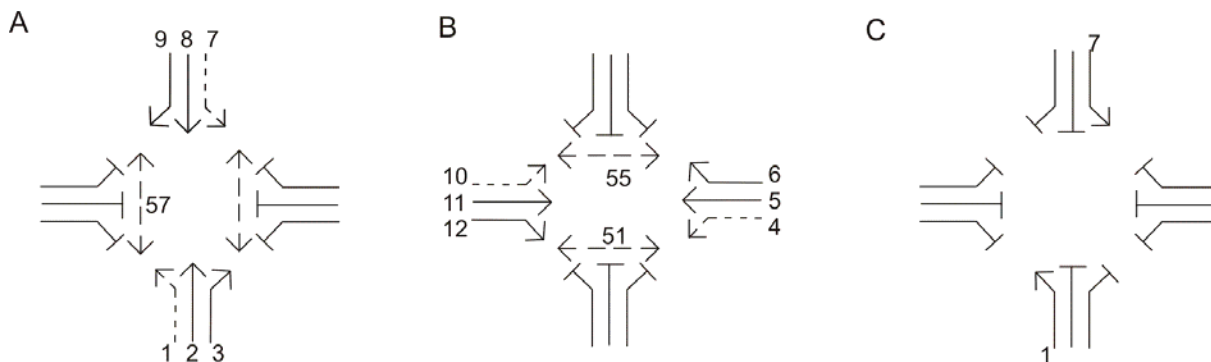
f) **Prometne obremenitve (Demand Volumes)**

V meniju *Edit* pod **Volumes** vpisujemo podatke o prometnih obremenitvah (volumnih) na izbrano časovno enoto (običajno 60 min) za vsako smer v križišču. Podatke o težkih vozilih (*Heavy Vehicle*) podamo v obliki, kot smo jo izbrali že na začetku v osnovnih parametrih. Če upoštevamo tudi pešce, podamo tudi število pešcev na časovno enoto.

Če želimo upoštevati rast ali padec prometnega toka, podamo v meniju *Edit* pod **Flow Scale faktor rasti prometa (Flow Scale)**, podobno kot pri osnovnih parametrih, kjer je faktor fiksen. V primeru spremenljivega faktorja pa podamo najnižji in najvišji faktor v odstotku ter prirastek (to je v primeru, če izberemo **P (Program-determined flow scales)** pri Program/User. Lahko pa podamo kar 12 različnih faktorjev, s katerim želimo osnovni prometni tok povečati ali pomanjšati. V tem primeru moramo izbrati pri Program/User **U (User-Specified flow scale)**. Če rasti prometnega toka ne želimo upoštevati, napišemo **N (Not applicable)**.

g) **Faze in prioritete** (*Phasing and Priorities*)

Podatke o fazah vpisujemo v meniju **Edit** pod **Phasing and Priorities**. Na prvi strani opišemo faze in prioritete (*Phase Description & Priorities*). Faze so prikazane v grafični obliki. Vse faze, ki jih program ponuja, lahko vidimo na sliki, če pritisnemo **F7**. Nekaj od teh faz je prikazano tudi na Sliki 32.



Slika 32: Primer nekaterih faz

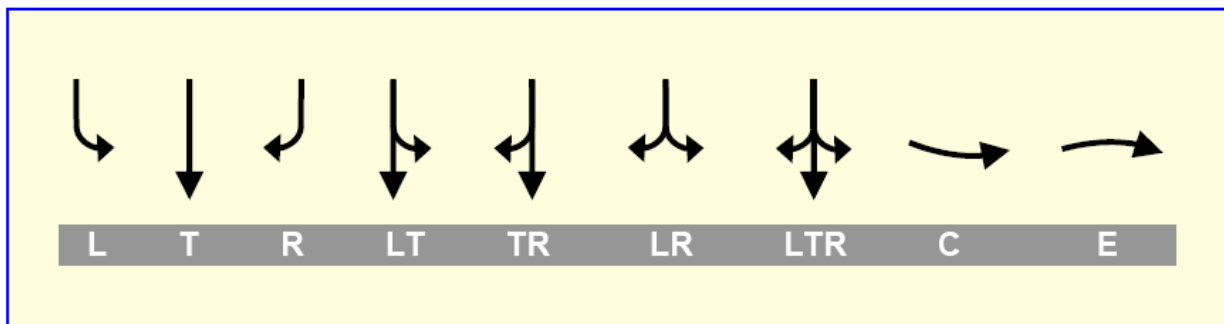
Če nam ponujene kombinacije faz ne ustrezajo, potem lahko sami definiramo novo fazo. Določimo ji novo oznako (črka) in z Enter skočimo v polje z grafiko ter določimo katere smeri so v tej fazi dovoljene. To naredimo tako, da pri dovoljenih smereh v tej fazi pritisnemo na določenem kraku križišča **L** (Left/levo), **R** (Right/desno), **T** (Trough/naravnost), **P** (Pedestrian /pešci) ter **D** (Dummy). Če želimo odstraniti dovoljene smeri, potem pritisnemo pred L, R, T, P in D črko **E** (erase). Za smeri, ki nimajo prednosti zaradi nasprotnega toka, npr. levi zavijalci, napišemo spredaj črko **O** (*Opposed turns*). Na novo fazo preskočimo z **F8**.

Zaslon prioritete nesemaforiziranih križišč (Priorities screen for Unsignalised Intersections) uporabimo pri krožnih križiščih in drugih nesemaforiziranih križiščih.

Ko imamo določene vse faze, ki jih bomo obravnavali v določenem križišču, gremo na drugo stran, kjer določimo *zaporedje faz (Phase Sequence Data)*. Določimo lahko do 9 zaporedij faz. Po vrsti napišemo oznake faz, tako kot želimo, da se v zaporedju izvajajo. Določena faza v nekem zaporedju ne more biti uporabljena več kot enkrat, lahko pa je uporabljena dejansko enaka faza z drugim imenom.

h) *Nasprotni zavijalci (Opposed Turns)*

V meniju *Edit* izberemo ***Opposed Turns***, kjer se nahajata dve strani in sicer za opis nasprotnega prometnega toka, ki ovira promet na obravnavani smeri (*Opposing Movements*) ter parametri zavijalcev (*Opposed Turn Parameters*).



Slika 33: Oznake nasprotnih zavijalcev v aaSIDRA

Nasprotni prometni tokovi (Opposing Movements)

Smeri, ki nimajo prednosti zaradi nasprotnega prometnega toka, smo določili že v ***Phasing & Priorities***, v ***Opposed Turns*** pa moramo opisati, zaradi katerih nasprotnih tokov določene smeri v obravnavanem kraku križišča nimajo prednosti.

Za določeno smer v določenem kraku križišča napišemo s katerega kraka križišča (S, E, N, W, SE, NE, NW, SW) prihaja nasprotni tok ter katera smer (L, T, R, C in E) s tega kraka ovira vozila v smeri, ki jo obravnavamo.

Parametri nasprotnih zavijalcev (Opposed Turn Parameters)

Parametre nasprotnih zavijalcev vpisujemo 10 krat večje kot so dejanske vrednosti parametrov.

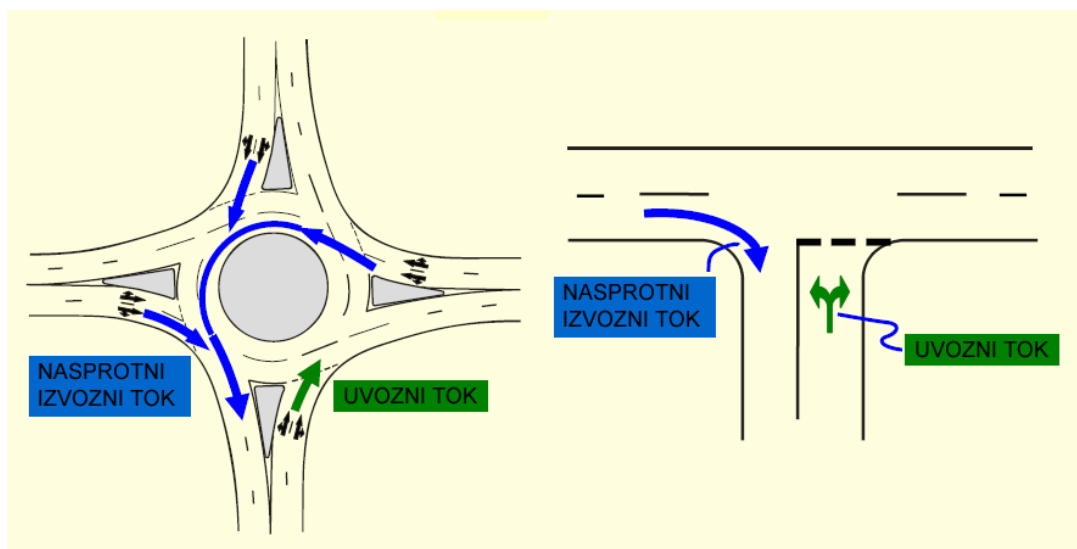
Za parameter *kritičnega razmaka (Critical Gap)* 10α izbiramo α med 2,2 do 8,0 s za semaforizirana in krožna križišča ter med 2,0 in 30,0 s za nesemaforizirana križišča.

Določimo 10-kratni čas sledenja (*Follow-up Headway*) β od 1,0 do 5,0 s. Velja tudi, da je $\beta = 0,5$ do $0,7 \alpha$ (v povprečju je čas sledenja enak 60% kritičnega razmaka).

Število odhodov po koncu zelenega časa (Departures After the End of Green Period) predstavlja maksimalno število vozil na voznem pasu, ki še uidejo skozi križišče po koncu zelenega časa in ga podamo kot $10n_{fm}$. Rang n_{fm} je od 0,1 do 9,0.

Minimalno število odhodov n_m (Minimum Departures) uporabimo pri krožnih križiščih in drugih nesemaforiziranih križiščih kot parameter predstavlja minimalno število odhodov na pas na minuto. Rang parametra n_m je od 0,2 do 10,0 za krožna križišča in 0,2 do 2,0 za nesemaforizirana križišča.

Odstotek izvoznega prometnega toka (Percentage Exiting Flow), ki ga smatramo kot nasprotni prometni tok, ki ovira vozila iz obravnavanega pasu (*Opposed turns*), podamo za vsa križišča razen za semaforizirana. Izvozni prometni tok je število vozil, ki zavijajo na tisti izvozni pas križišča, kjer mi obravnavamo sosednji uvozni pas. Slika 34 prikazuje izvozni in uvozni tok.



Slika 34: Izvozni prometni tok za krožno križišče in semaforizirano križišče

V Preglednicah od 7 do 10 so prikazane priporočljive vrednosti zgoraj omenjenih parametrov za vse vrste križišč.

Preglednica 7: Parametri za semaforizirana križišča

Tip zavijanja	Verzija aaSIDRA			HCM verzija			Vse verzije
	α (s)	β (s)	n_{fm}	α (s)	β (s)	n_{fm}	% izvozov
Levo	4,5	2,6	2,2	4,5	2,5	2,0	0
Desno	4,0	2,4	2,5	4,0	2,4	2,5	0
Izvozni lijak	4,0	2,4	2,5	4,0	2,4	2,5	0
Pri rdeči luči	6,0	3,0	1,0	6,0	3,0	1,0	0

- α - kritični razmak
 β - čas sledenja
 n_{fm} - maksimalno število odhodov vozil po koncu zelenega časa

Preglednica 8: Parametri za krožna križišča za vse verzije

Tip zavijanja	Vse verzije			
	α (s)	β (s)	n_m	% izvozov
Normalni uvoz	V	V	2,5	0
Uvoz skozi lijak (<i>slip lane</i>)	V	V		0

- V - Variable/ spremenljivka (parameter določen s programom aaSIDRA)
 α - kritični razmak
 β - čas sledenja
 n_m - maksimalno število odhodov vozil po koncu zelenega časa

Preglednica 9: Parametri za nesemaforizirana križišča z večpasovno glavno cesto

Tip zavijanja		α (s)	β (s)	n_m	% izvozov
Stranska cesta:	Levo	7,0	4,0	2,0	50
	Naravnost	6,5	3,5	2,0	50
	Desno	5,0		2,0	50
Glavna cesta		4,5		2,0	0
Uvozni lijak na stranski cesti		5,0	3,0	2,0	50
Uvozni lijak na glavni cesti		4,5	2,5	2,0	0

- α - kritični razmak
 β - čas sledenja
 n_m - maksimalno število odhodov vozil po koncu zelenega časa

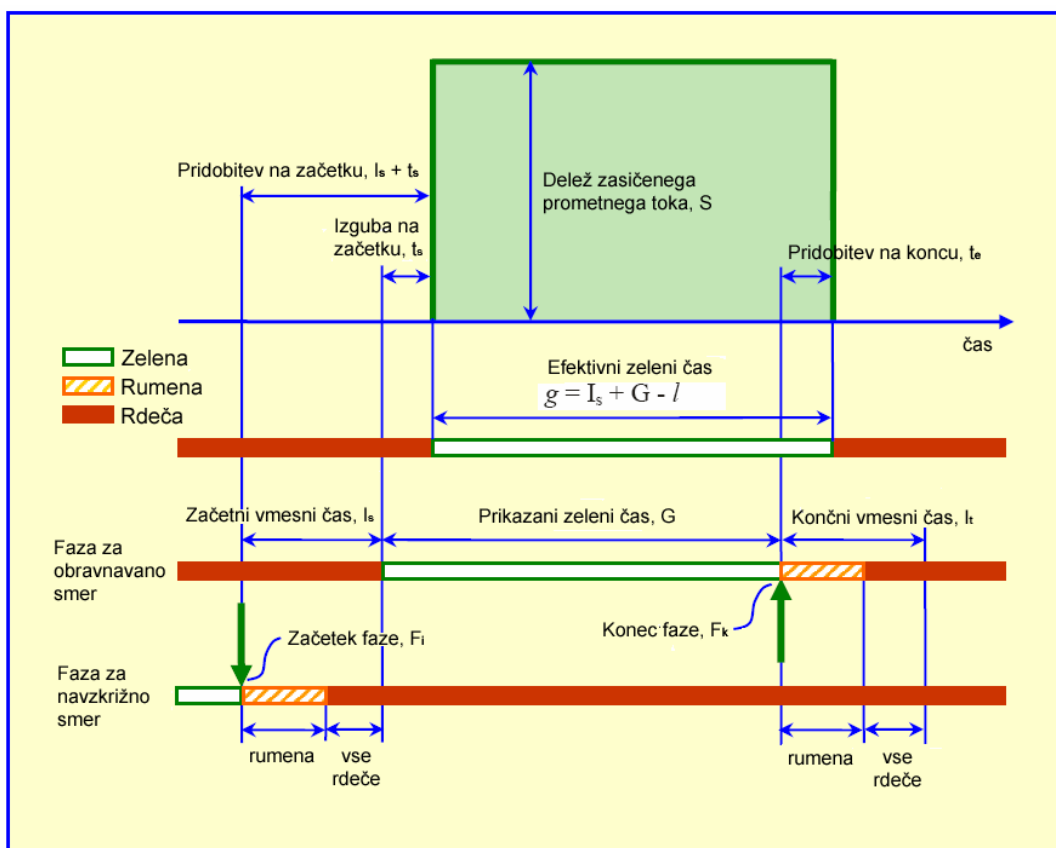
Preglednica 10: Parametri za nesemaforizirana križišča z dvopasovno glavno cesto

Tip zavijanja		α (s)	β (s)	n_m	% izvozov
Stranska cesta:	Levo		3,5	2,0	50
	Naravnost	5,0	3,0	2,0	50
	Desno	4,5	2,5		50
Glavna cesta		4,0	2,0	2,0	0
Uvozni lijak na stranski cesti			2,5	2,0	50
Uvozni lijak na glavni cesti			2,0	2,0	0

- α - kritični razmak
 β - čas sledenja
 n_m - maksimalno število odhodov vozil po koncu zelenega časa

i) **Časovni podatki za semaforje (Signal Timing Data)**

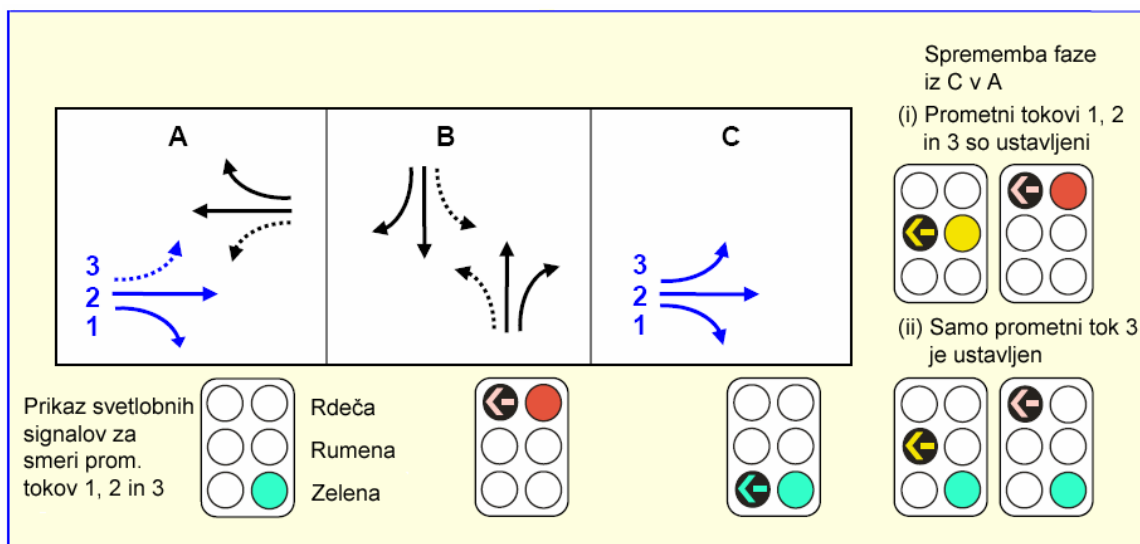
V meniju *Extra Data* pod **Timing Data** vpisujemo podatke o trajanju in zaporedju faz za prvi in drugi zeleni čas. Večino podatkov program povzame iz osnovnih parametrov in iz podatkov o fazah, ki smo jih že predhodno vnesli. Definicije parametrov za določanje časov cikla so prikazane na Sliki 35.



Slika 35: Parametri za določanje časov cikla

Začetne in končne faze (Starting and Terminating Phases)

Tako program že sam zapiše na podlagi določitve zaporedja faz v **Phasing and Priorities** od katere do katere faze (From Phase - To Phase) je zeleni čas za vse smeri na vseh krakih križišča. V času enega cikla imamo lahko enega ali dva zelena časa za neko smer v križišču. Tam, kjer imajo vozila na določeni smeri pravico za vožnjo v več zaporednih fazah brez prekinitve, tam je lahko samo en zelen čas na cikel za tisto smer. Primer je na Sliki 36.



Slika 36: Primer zaporedja faz (ena zelena faza ali dve zeleni fazi)

Preglednica 11: Primer zaporedja faz (ena zelena faza ali dve zeleni fazi)

	Številka prometnega toka	Prva zelena faza		Druga zelena faza	
		Začetna faza	Končna faza	Začetna faza	Končna faza
Primer (i)	1,2	A	B	C	A
Primer (ii)	1,2	C	B		
Oba primera	3	A	B	C	A

Vmesni čas (Intergreen Time) je čas rumenega in rdečega časa med spremembo faze. Namen rumenega intervala je zagotoviti ustrezno opozorilo ob končanju faze.

Izguba časa na začetku t_s (Start Loss) je čas med prikazom zelenega časa in začetkom učinkovitega zelenega časa. To je tisti čas, ki je potreben za reakcijo, da voznik spelje, ko se prižge zelena luč. Ta čas je približno 3 s za voznike ter 2 s za pešce.

Pridobitev časa na koncu t_e (End Gain) je čas med koncem prikazovanja zelenega časa in učinkovitega zelenega časa. To je tisti čas, ko vozniki še vedno vozijo skozi križišče, čeprav se je že prižgala rumena oziroma rdeča luč na semaforju. Privzeta vrednost je 3 s. Minimalni učinkoviti zeleni čas g_{min} ne sme biti manjši od 3 s.

Minimalni prikazani zeleni čas G_{min} (Minimum Displayed Green Time) določimo na podlagi predhodnega pogoja, in sicer:

$$G_{min} = t_s - t_e + 3$$

Da zagotovimo, da je minimalni efektivni zeleni čas vsaj 3 s mora biti izpolnjen pogoj:

$$g_{\min} = G_{\min} - t_s + t_e \geq 3$$

kjer je t_s – izguba časa na začetku in t_e – izguba časa na koncu.

Določevanje minimalnega zelenega časa pa je pogojeno tudi z upoštevanjem pešcev. Določiti je potrebno namreč tudi *minimalni zeleni čas za pešce (Pedestrian minimum green time)*, kar pa program že sam določi na podlagi načina in razdalje prečkanja, kar smo določili že v *Approaches*.

Maksimalni zeleni čas G_{\max} (Maximum Displayed Green Time) mora biti večji ali enak od minimalnega zelenega časa G_{\min} ($G_{\max} \geq G_{\min}$). Privzete vrednosti so 50 s za glavne ceste in 20 s za stranske ceste. Drugače pa je bolj priporočljivo, da maksimalnega zelenega časa ne določujemo in pustimo kar privzeto vrednost N (*Not applicable*).

Spremenljiv čas cikla (Variable Cycle Time Data)

Če želimo upoštevati spremenljiv čas cikla za določitev optimalnega časa cikla, podamo v meniju *Edit* pod **Cycle Time (Variable)** čas ciklusa (*Cycle Time*), podobno kot pri osnovnih parametrih, kjer je čas ciklusa fiksni. V primeru spremenljivega časa cikla pa podamo najnižji (*Lower Limit - c_L*) in najvišji (*Upper Limit - c_U*) čas cikla v sekundah ter prirastek (*Cycle Increment - Δc*) (to je v primeru, če izberemo **P (Program-determined)** pri **Program/User**). Lahko pa podamo kar 14 različnih časov cikla. V tem primeru moramo izbrati pri **Program/User U (User-specified)**. Pri določevanju najnižjega in najvišjega časa cikla moramo paziti, da najnižji čas ne bo manjši od minimalnega časa cikla ($c_L > c_{\min}$), ki ga program sam izračuna, oziroma najvišji cikel ne bo večji od maksimalnega časa cikla, ki smo ga določili v **Basic Parameters**. Če spremenljivega časa cikla ne želimo upoštevati, napišemo **N (Not applicable)**.

Časi faz (Phase Times)

S to metodo v meniju *Extra Data* določamo začetni vmesni čas skupaj z zelenim časom (I_s+G) za vsako fazo. Nato RIDES avtomatično izračuna in prikaže spremembe časov faz. Zadnjo fazo izračuna glede na čas cikla.

Podaljšanje zelenega časa prioritetenemu prometnemu toku (Green Split Priority)

Uporabimo za določanje podaljšanja zelenega časa prioritetenemu prometnemu toku, medtem ko ostali prometni tokovi ostajajo znotraj njihovih določenih zasičenosti prometnih tokov. Za uporabo te možnosti vpišemo Y (*Yes*) oziroma C (*Coordinated*), kot privzeta vrednost je vneseno N (*Not applicable*)

Določimo tudi zeleni čas prioritetenemu prometnemu toku. Na voljo so naslednje možnosti:

- F - samo prvi zeleni čas (*First green period only*)
- S - samo drugi zeleni čas (*Second green period only*)
- B - oba zelena časa (*Both green periods*) - privzeto

j) Ostali podatki prometnih tokov (Other Movement Data)

Preko oken **Movement Data (1)** in **Movement Data (2)** v meniju *Extra Data* določimo karakteristike posameznim prometnim tokovom.

Podatki prometnega toka (1) (Movement Data (1))

- Hitrost na uvoznem pasu in njegova dolžina (*Approach Speed and Distance*)
- Dolžina kolone (*Queue Space per Vehicle*)
- Faktor konične ure (*Peak Flow Factor*)
- Vodenje prometnega toka, koordinacija in način prihoda (*Movement Control, Coordination and Arrival Type Data*)

Podatki prometnega toka (2) (Movement Data (2))

- Način in radij obračanja ali (*Turn Type, Turn Radius, or Conflicting Pedestrian Volume*)
- Vzdolžni nagib ceste (*Approach Grade*)
- Stopnja zasičenosti (*Practical Degree of Saturation*)
- Konstantni zasičeni prometni tokovi (*Constant Saturation Flows*)
- Prometna obremenitev podrejenih prometnih tokov (*Slave Movement Volumes*)

k) Skupine prometnih tokov (Movement Groupings)

Tudi to karakteristiko vnesemo v bazo podatkov preko menija *Extra Data* preko opcij **Defining Movement Groupings** in **Data for Groupings**. V nadaljevanju so predstavljene samo postavke po katerih lahko prometne tokove združujemo v skupine.

Definiranje skupin prometnih tokov (Defining Movement Groupings)

- Seznam skupin (*Grouping List*)
- Opis skupin prometnih tokov (*Grouping Description*)

Podatki za tvorjenje skupin prometnih tokov (Data for Movement Groupings)

- Faktor rasti prometa (*Flow Scale*)
 - Vpliv zamude (*Delay Weight*)
 - Vpliv ustavljanja (*Stop Weight*)
 - Vpliv kolone (*Queue Weight*)
 - Podatki o porabi goriva, vzdrževalni stroški in emisije (*Data for Fuel Consumption, Operating Cost and Emissions*)
 - (*Idling Rate*)
 - (*Parameters for Cruise Conditions*)
 - Masa vozila (*Vehicle Mass*)
 - Učinkovitostni parametri (*Efficiency Parameters*)
 - Opisi (*Alphanumeric Descriptions*)
-

4.2.5 Izhodni podatki

Sedaj smo pripravili podatke v modulu RIDES in lahko zaženemo simulacijo. To storimo s pritiskom na tipko F9. V osnovnem oknu programskega orodja aaSIDRA se pojavijo izhodni podatki in sicer v obliki teksta, tabel, grafikonov in slik. Če želimo določene podatke tudi pogledati, dvakrat kliknemo na zelen napis v levem oknu.

Tekstualni rezultati (Text Output)

– Povzetek rezultatov za križišče (*Intersection Summary*) – Slika 37

Intersection Summary			
SIDRA User Guide Example 1 (Left-Hand Version)			
Four-way signalised intersection			
Performance Measure	Vehicles	Pedestrians	Persons
Demand Flows - Total	3653 veh/h	420 ped/h	5900 pers/h
Percent Heavy Vehicles	7.0 %		
Degree of Saturation	0.739	0.100	
Effective Intersection Capacity	4946 veh/h		
95% Back of Queue (m)	116 m	0 m	
95% Back of Queue (veh)	15.9 veh	0.2 ped	
Control Delay (Total)	24.87 veh-h/h	3.32 ped-h/h	40.63 pers-h/h
Control Delay (Average)	24.5 s/veh	28.5 s/ped	24.8 s/pers
Level of Service	LOS C	LOS C	
Level of Service (Worst Movement)	LOS D	LOS D	
Total Effective Stops	2695 veh/h	353 ped/h	4395 pers/h
Effective Stop Rate	0.74 per veh	0.84 per ped	0.75 per pers
Proportion Queued	0.78	0.84	0.78
Travel Distance (Total)	3653.0 veh-km/h	6.3 ped-km/h	5485.8 pers-km/h
Travel Distance (Average)	1000 m	15 m	930 m
Travel Time (Total)	75.6 veh-h/h	4.9 ped-h/h	118.3 pers-h/h
Travel Time (Average)	74.5 secs	42.0 secs	72.2 secs
Travel Speed	48.3 km/h	1.3 km/h	46.4 km/h
Operating Cost (Total)	2563 \$/h	79 \$/h	2642 \$/h
Fuel Consumption (Total)	528.2 L/h		
Carbon Dioxide (Total)	1324.4 kg/h		
Hydrocarbons (Total)	1.857 kg/h		
Carbon Monoxide (Total)	98.63 kg/h		
NOX (Total)	3.726 kg/h		

Slika 37: Primer izpisa rezultatov za križišče

– Povzetek rezultatov za vsako smer posebej (*Movement Summary*) – Slika 38

Movement Summary										
SIDRA User Guide Example 1 (Left-Hand Version)										
Four-way signalised intersection										
Signalised - Fixed time					Cycle Time = 80 seconds					
Vehicle Movements										
Mov No	Turn	Dem Flow (veh/h)	%HV	Deg of Satn (v/c)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate	Aver Speed (km/h)
Main Road - South										
1	L	153	20.9	0.583	38.3	LOS D	79	0.84	0.83	40.6
2	T	568	7.4	0.583	27.8	LOS C	84	0.86	0.73	49.4
3	R	79	6.3	0.583	39.5	LOS D	74	0.90	0.83	39.6
Approach		800	9.9	0.583	31.0	LOS C	84	0.86	0.76	46.4
Side Street - East										
4	L	232	9.1	0.603	24.3	LOS C	56	0.67	0.79	46.8
5	T	160	8.1	0.465	27.4	LOS C	62	0.89	0.74	41.2
6	R	35	8.6	0.464	36.8	LOS D	62	0.89	0.81	40.2
Approach		427	8.7	0.603	26.5	LOS C	62	0.77	0.77	43.9
Main Road - North										
7	L	479	5.4	0.449	14.0	LOS B	56	0.54	0.78	54.9
8	T	1063	5.0	0.739	15.6	LOS B	116	0.70	0.62	59.4
9	R	347	6.1	0.738	44.1	LOS D	92	0.98	0.88	37.6
Approach		1890	5.3	0.738	20.4	LOS C	116	0.71	0.71	52.7
Side Street - West										
10	L	88	10.2	0.649	33.3	LOS C	63	0.82	0.83	41.9
11	T	400	5.2	0.649	25.4	LOS C	95	0.89	0.76	42.1
12	R	47	22.9	0.648	35.9	LOS D	95	0.92	0.84	40.7
Approach		536	7.6	0.649	27.7	LOS C	95	0.88	0.78	42.0
All Vehicles		3653	7.0	0.739	24.5	LOS C	116	0.78	0.74	48.3
Pedestrian Movements										
Mov No	Dem Flow (ped/h)	Aver Delay (sec)	Level of Service	95% Back of Queue (m)	Prop. Queued	Eff. Stop Rate				
51	105	32.4	LOS D	0	0.90	0.90				
53	105	21.0	LOS C	0	0.73	0.73				
55	105	33.3	LOS D	0	0.91	0.91				
57	105	27.2	LOS C	0	0.82	0.82				
All Peds	420	28.5	LOS C	0	0.84	0.84				

Slika 38: Primer izpisa rezultatov za vse smeri

Tabele (Output Tables)

V *Basic Parameters* v RIDES določimo, ali želimo dobiti vse (*Full*) izhodne preglednice ali samo določene (*Summary*). Vse možne preglednice so naslednje:

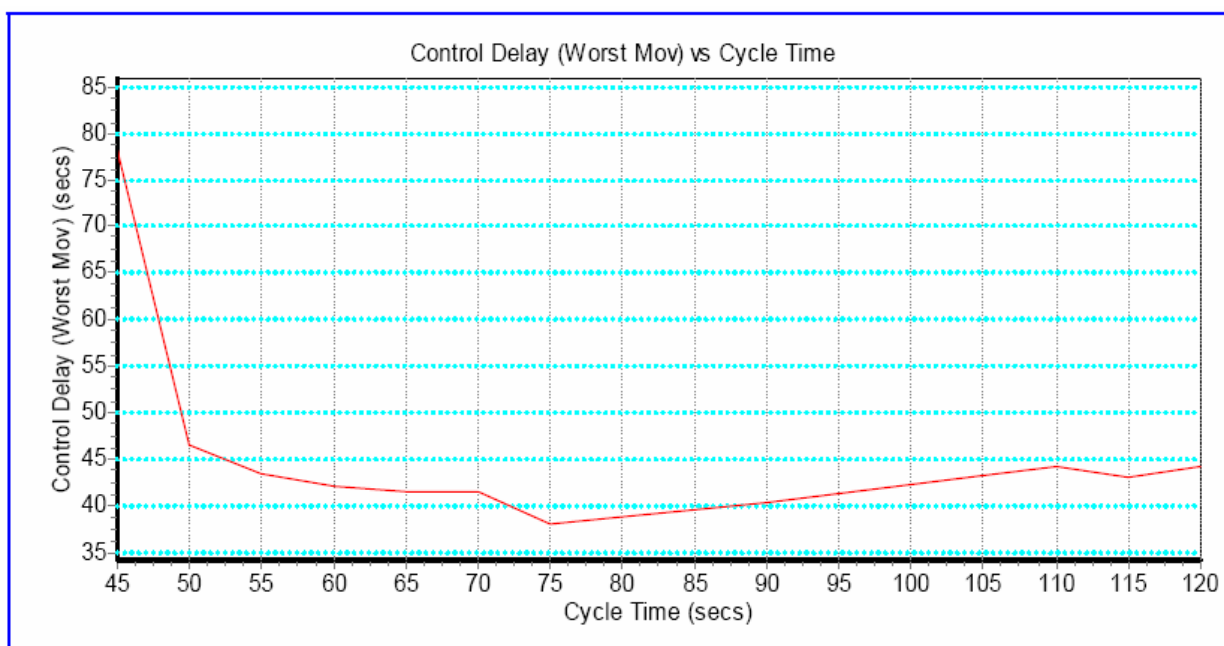
Preglednica 12: Seznam izhodnih tabel programskega orodja aaSIDRA

Preglednica	Naslov preglednice
Parametri	Privzeti parametri
Preglednica S.0	Podatki prometnega toka
Preglednica R.0	Osnovni parametri za krožna križišča
Preglednica R.1	Parametri sprejemljivih razmikov za krožno krožišče
Preglednica R.5	Prepustnost krožnega križišča (aaSIDRA in HCM)
Preglednica R.6	Alternativni prepustnostni modeli za krožna križišča
Preglednica S.1	Parametri zaporedja faz in časov
Preglednica S.2	Parametri kapacitete prometnih tokov
Preglednica S.3	Parametri križišča
Preglednica S.4	Informacije o fazah
Preglednica S.5	Delovni učinek po smereh
Preglednica S.6	Delovni učinek križišča
Preglednica S.7	Delovni učinek po voznih pasovih
Preglednica S.8A	Informacije o prometnem toku po voznih pasovih in kapaciteti
Preglednica S.8B	Parameter SCATS MF
Preglednica S.9	Shema časov semaforja
Preglednica S.10	Povzetek kapacitete in delovnega učinka
Preglednica S.12A	Poraba goriva, emisije in stroški (skupaj)
Preglednica S.12B	Poraba goriva, emisije in stroški (delež)
Preglednica S.14	Povzetek vhodnih in izhodnih podatkov
Preglednica S.15	Kapaciteta in nivo uslug (HCM oblika)
Preglednica S.21	Rezultati spremenljivega časa cikla
Preglednica S.22	Rezultati spremenljivega prometnega toka
Preglednica S.23	Rezultati občutljivosti analize
Preglednica V.21	Povzetek križišča za spremenljiv čas cikla
Preglednica V.22	Povzetek križišča za spremenljiv prometni tok
Preglednica V.23	Povzetek križišča za spremenljiv parameter
Preglednica D.0	Podatki o geometrijskih zamudah
Preglednica D.1	Zamude na voznih pasovih
Preglednica D.2	Število ustavljanj na vozni pas
Preglednica D.3A	Kolone na vozni pas (vozila)
Preglednica D.3B	Kolone na vozni pas (m)
Preglednica D.4	Hitrosti vožnje
Preglednica D.5	Progression and Actuated Signal parameters

Grafikoni (Graphs)

Vsi grafikoni, ki se izrišejo v izhodnih podatkih so v odvisnosti od časa cikla. Izrišejo se naslednji grafikoni:

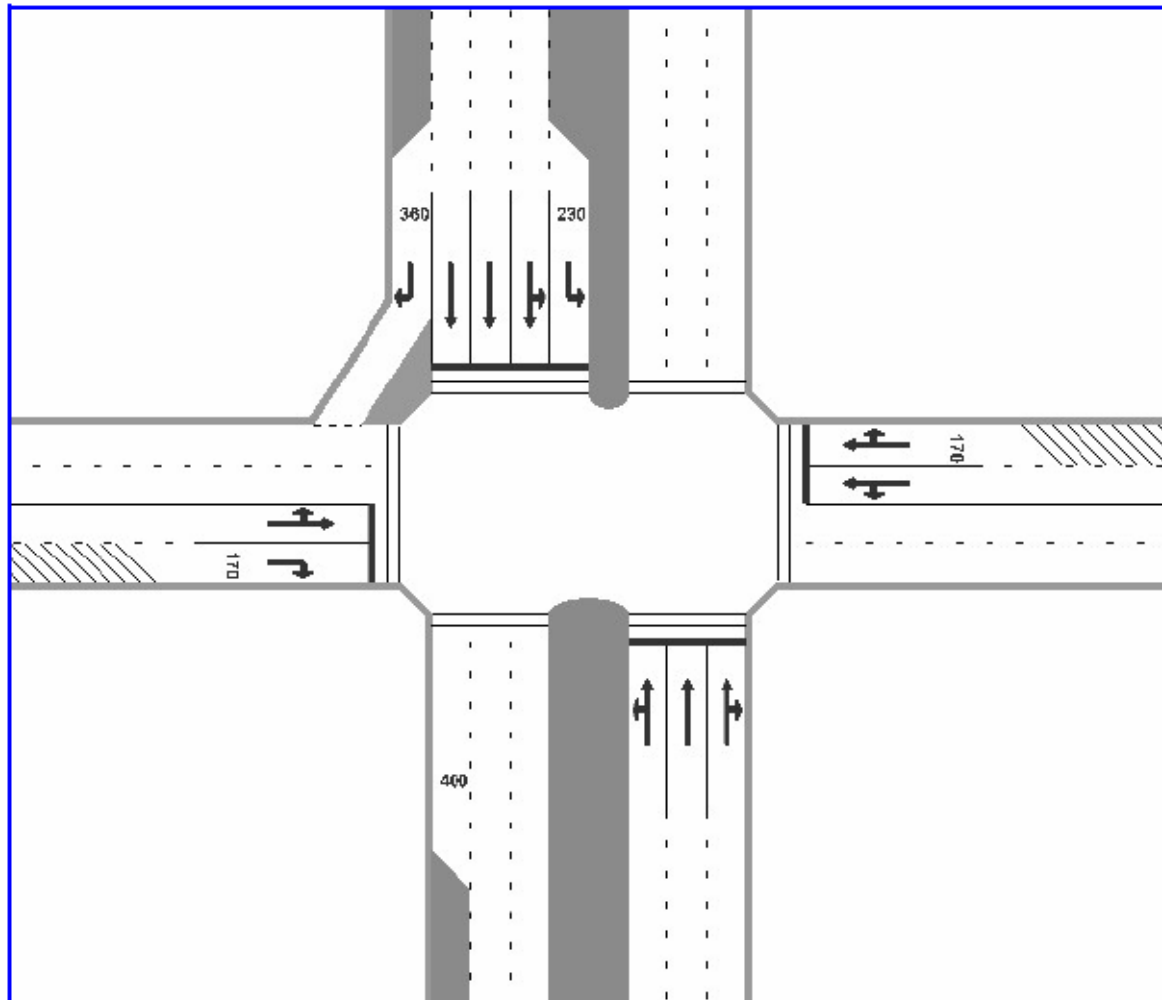
- kapaciteta
- ogljikov dioksid
- ogljikov monoksid
- povprečne zamude
- stopnja zasičenosti
- prometni tok
- stopnja ustavljanj
- poraba goriva
- ogljikovodiki
- najdaljša kolona
- dušikovi oksidi
- obratovalni stroški
- indeks delovnega učinka
- rezerva kapacitete
- povprečne zamude zaradi ustavljanj
- hitrost potovanja



Slika 39: Primer grafikona za določitev optimalnega časa cikla

Slika geometrije (*Geometry picture*)

Slika geometrije predstavlja detajlno sliko izgleda križišča z imeni cest, voznimi pasovi, izvoznimi lijaki, kratkimi posebnimi pasovi, parkirišči. Primer je na Sliki 40.



Slika 40: Primer geometrije

Prikaz faz (*Phasing Display*)

Slika faz prikazuje posamezne faze in čase posameznih faz (zeleni čas, vmesni čas, odstotek časa faze od celotnega časa cikla) ter čas celotnega cikla. Primer slike zaporedja faz je prikazan na Sliki 41.

Phasing

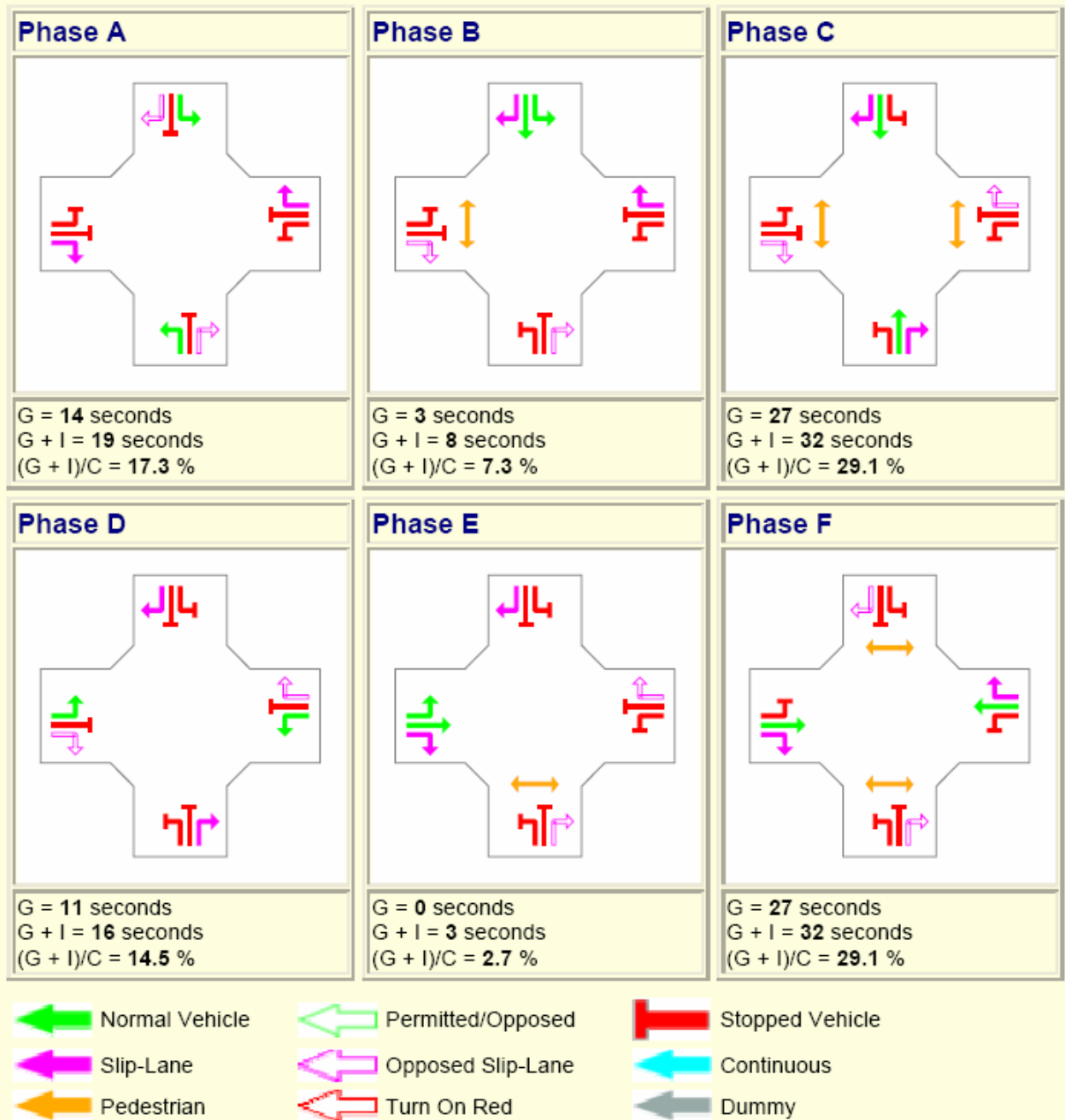
Major 4-Way Intersection

Pretimed signal analysis

C = 110 seconds

Cycle Time Option: Program calculated cycle time

Phase times determined by the program.



C Cycle Time
G Green Time
I Intergreen Time (yellow plus all-red)
(G + I)/C Phase time as a percentage of cycle

Slika 41: Primer zaporedja faz

Prikaz prometnih tokov po smereh (*Movement Displays*)

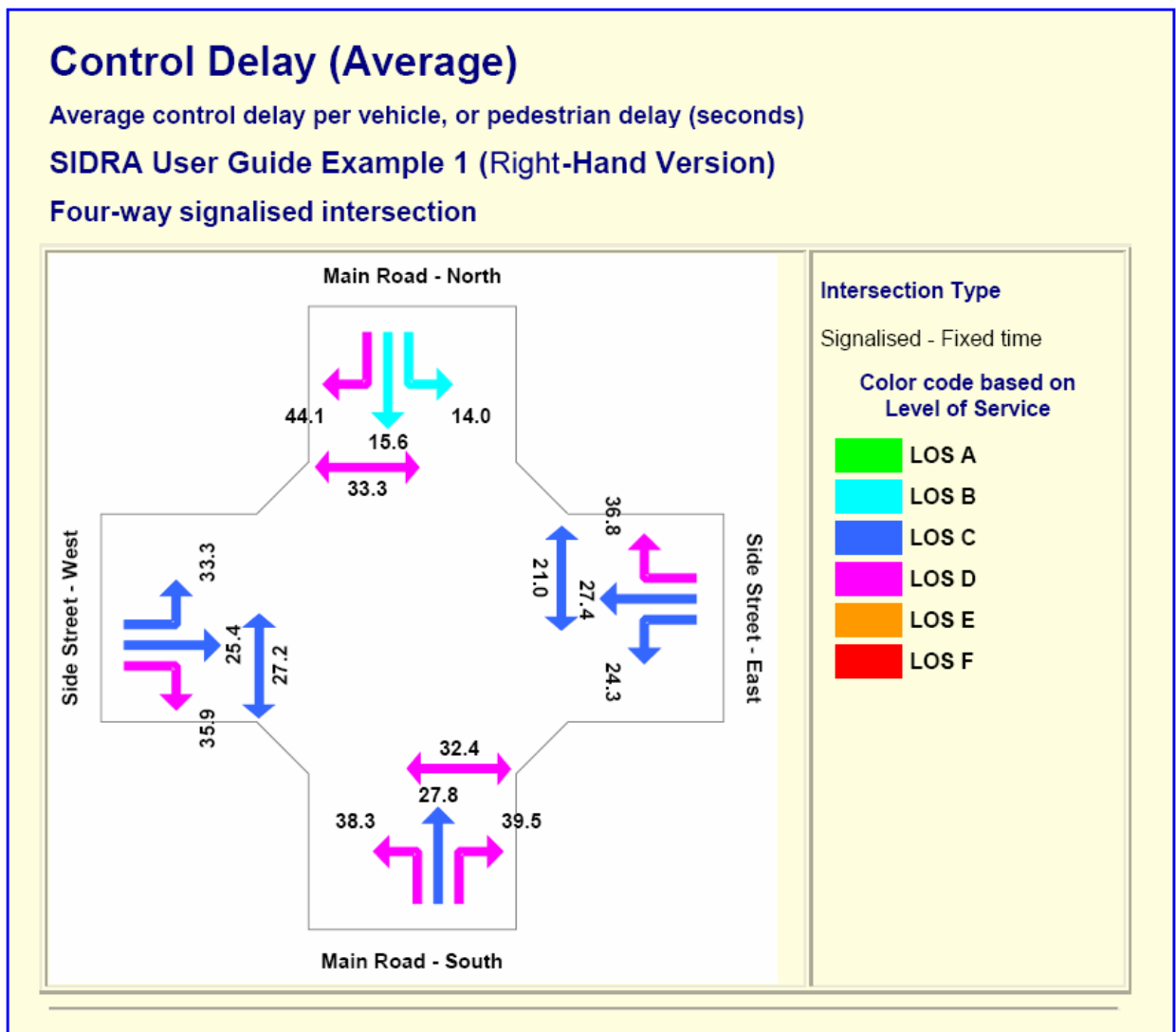
Slike prikazujejo različne vhodne podatke ter rezultate za posamezne smeri na sliki križišča.

Prikazane so naslednje slike:

- kapaciteta:
 - stopnja zasičenosti (*Degree of Saturation*)
 - rezerva kapacitete (*Practical Spare Capacity*)
 - kapaciteta (*Capacity Total*)
 - stroški:
 - operativni stroški (*Operating Cost*)
 - zamude:
 - zamude (*Control delay*)
 - geometrijske zamude (*Geometric delay*)
 - zamude zaradi ustavljanj na stop črti (*Stop-line delay*)
 - prometni tok:
 - tok na dostopni cesti, tok v krožnem križišču, izvozni tok (*Approach, Circulating and Exiting Flows*)
 - odstotek težkih vozil (*Percent Heavy Vehicles*)
 - prometni tok (*Demand Flow*)
 - prometne obremenitve - volumni (*Input Volumes*)
 - gorivo in emisije:
 - ogljikov dioksid (*Carbon Dioxide*)
 - ogljikov monoksid (*Carbon Monoxide*)
 - poraba goriva (*Fuel Consumption*)
 - ogljikovodiki (*Hydrocarbons*)
 - dušikovi oksidi (*NO_x*)
 - nivo uslug:
 - nivo uslug (*Level of Service*)
 - opis gibanja:
 - opis gibanja (*Movement Description - continuous, pedestrians, slip, normal*)
 - kolone:
 - dolžina kolone (*Queue Distance*)
 - razmerje ohranjanja kolone (*Queue Storage Ratio*)
 - število vozil v koloni (*Queue*)
-

- hitrost vozil:
 - dovoljena hitrost (*Cruise Speed*)
 - hitrost brez upoštevanja ustavljanj (*Running Speed*)
 - hitrost z upoštevanjem vseh zamud (*Travel Speed*)
- ustavljanja:
 - delež vozil v vrsti (*Proportion Queued*)
 - stopnja učinkovitosti ustavljanj (*Effective Stop Rate*)
 - učinkovitost ustavljanj (*Total Effective Stops*)

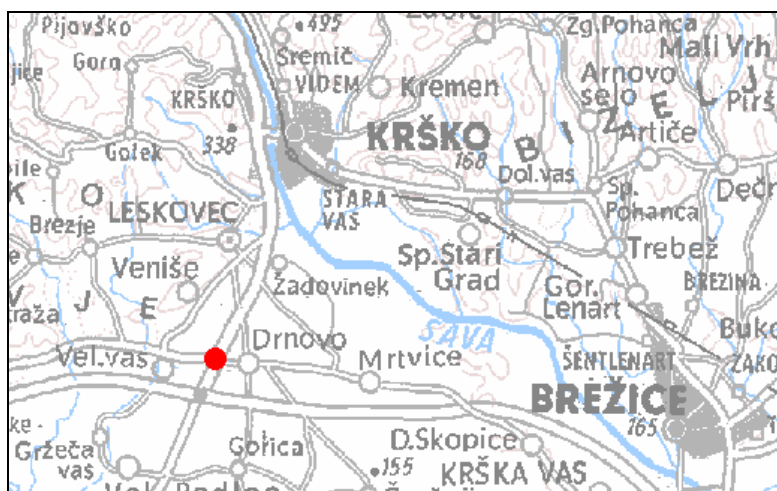
Primer slike rezultatov posameznih smeri križišča je prikazan na Sliki 42.



Slika 42: Primer nivoja uslug po smereh

5 KROŽNO KRIŽIŠČE DRNOVO

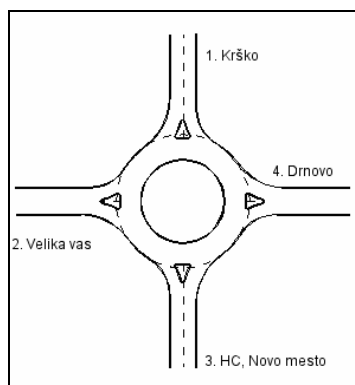
Krožno križišče Drnovo se nahaja na glavni cesti G1-5 na koncu odseka 336 in na začetku odseka 337. Nahaja se v bližini kraja Drnovo, kjer lokalna cesta iz Drnovega do Velike vasi prečka glavno cesto od Krškega do priključka glavne ceste G1-5 na AC Novo mesto - Obrežje. Zgrajeno je bilo kot rekonstrukcija klasičnega križišča tudi z namenom izboljšanja prometne varnosti, ki je bila zelo slaba zaradi velikih hitrosti na glavni cesti in posledično nevarnega vključevanja iz lokalnih cest. Locirano je izven naselja.



Slika 43: Pregledna karta Drnovo

Krožno križišče je štirikrako. Vsi uvozi in izvozi, tako kot tudi krožno vozišče, so enopasovni. Na vseh štirih krakih so v neposredni bližini tudi avtobusna postajališča. Cesta višjega reda poteka v smeri sever-jug.

Zaradi jasnega in enotnega poteka analize, smo posamezne krake po vrsti v nasprotni smeri urinega kazalca poimenovali, kot je razvidno iz spodnje slike. Kraki si sledijo takole: 1. Krško, 2. Velika vas, 3. HC, Novo mesto in 4. Drnovo.



Slika 44: Smeri v krožnem križišču Drnovo

5.1 PREDHODNE ANALIZE KRIŽIŠČA DRNOVO

Za projekt PGD, PZI je bila v marcu 2000 izdelana prometna analiza krožnega križišča v okviru Primerjalne študije variant križišča glavne ceste GI-5 in lokalnih cest LC 191 310 ter LC 191 130 (uporabljeno je bilo programsko orodje Sidra 5.20), kjer je bil predlagan zunanji radij $D=44m$, s premerom sredinskega otoka $30m$ in širino pasu v krogu $6.5m$ (skupaj s tlakovanim pasom ob otoku $2.0m$) Za študijo je bilo opravljeno štetje prometa (11. januar 2000) na takratnem štirikrakem križišču. Rezultati štetja (konične ure) so razvidni iz naslednjih preglednic.

Preglednica 13: Prometna obremenitev križišča Drnovo januarja 2000 v jutranji konični uri

(EOV/h)	1. Krško	2. Velika vas	3. HC, Novo mesto	4. Drnovo
LEVO	53	10	54	26
RAVNO	297	19	359	30
DESNO	55	24	11	91
SKUPAJ	405	53	424	147

Preglednica 14: Prometna obremenitev križišča Drnovo januarja 2000 v popoldanski konični uri

(EOV/h)	1. Krško	2. Velika vas	3. HC, Novo mesto	4. Drnovo
LEVO	73	42	22	22
RAVNO	323	42	295	24
DESNO	21	54	25	74
SKUPAJ	417	138	342	120

Analiza jutranje konice na obstoječem križišču je pokazala, da prometne obremenitve niso tolikšne, da bi v normalnih pogojih prihajalo do prekoračitve kapacitete križišča. Izračunane zamude so majhne, tako da je na glavni cesti G1-5 nivo uslug A, na lokalnih neprednostnih cestah pa je nivo uslug C. Kolone so minimalne. Ob upoštevanju predvidene letne rasti prometa (3.5%) bi bil kriterij prometnih obremenitev dosežen po 12 letih, ko bi bila kapaciteta neprednostnih priključkov presežena.

Podobne rezultate je pokazala analiza popoldanske konice na obstoječem križišču, kjer prometne obremenitve še niso takšne, da bi bil dosežen kriterij prometnih obremenitev. Tako je nivo uslug na glavni cesti G1-5 še vedno A, na lokalnih neprednostnih cestah pa je nivo uslug C. Kolone so minimalne. Ob upoštevanju letne rasti prometa (3.5%) bi bil kriterij prometnih obremenitev dosežen po 9 letih, ko bi bila kapaciteta lokalne ceste Velika vas presežena.

V študiji je bilo preverjeno tudi krožno križišče s premerom otoka 30m in z enim voznim pasom v krogu. Ta rešitev je še posebej zanimiva zaradi izredno slabe prometne varnosti na tem križišču.

Analiza jutranje konice analiziranega krožnega križišča je pokazala, da se zamude in kolone bistveno zmanjšajo v primerjavi s semaforiziranim križiščem. Prav tako pride do spremembe oziroma preoblikovanja prometnih tokov. Najslabši nivo uslug je C, pri čemer bi bil nivo uslug celotnega krožnega križišča B. Najdaljša kolona je dolga 4 vozila ali 24 m in to na glavni smeri.

Tudi pri analizi popoldanske konice se je krožno križišče izkazalo za zelo uspešno. Tako so zamude vozil v vseh smereh minimalne. Najslabši nivo uslug je C, nivo uslug celotnega krožnega križišča pa B. Najdaljša kolona je dolga 4.4 vozila ali 27 m.

5.1.1 Primerjava uspešnosti variant iz študije

Če se upošteva samo kriterije prometnih obremenitev ne pa tudi prometno varnostnih kriterijev, se izkaže, da bi bilo potrebno klasično križišče že pred koncem planske dobe (20 let) semaforizirati (predvidoma po devetih letih). Zaradi tega je primerjava variant izdelana samo za semaforizirano in krožno križišče in to na osnovi parametrov, ki vplivajo na prometno uspešnost odvijanja tokov.

Preglednica 15: Primerjava parametrov uspešnosti

PARAMETER	Jutranja konica		Popoldanska konica	
	Semafor. križišče	Krožno križišče	Semafor. križišče	Krožno križišče
Degree of saturation (highest) V/C	0.642	0.507	0.651	0.545
Practical Spare Capacity (lowest) %	40	68	38	56
Total vehicle flow (veh/h)	2029	2029	2061	2061
Total vehicle capacity, all lanes veh/h)	3856	4748	3771	4458
Average intersection delay (s)	19.2	14.0	22.0	10.2

Largest average movement delay (s)	39.2	25.9	38.1	20.3
Total vehicle delay (veh-h/h)	10.88	7.89	12.77	5.83
Largest back of queue, 95% (m)	117	24	117	27
Performance Index	88.00	42.68	93.43	48.40
Total fuel (L/h)	198.5	153.6	201.0	132.8
Total cost (\$/h)	1059.54	768.12	1089.31	834.60
Intersection Level of Service	B	B	C	B
Worst movement Level of Service	D	C	D	C

Primerjava klasičnega in krožnega križišča je pokazala predvsem to, da bi semaforizacija bistveno poslabšala prometne pogoje na glavni cesti. Krožno križišče izkazuje neprimerno boljše prometne parametre, kot klasično križišče. Glede na dolge usmerjevalne pasove, ki bi jih bilo potrebno zgraditi pri klasičnem križišču, pa je ugodnejše tudi glede porabe prostora. Bistveno krajše so zamude in kolone.

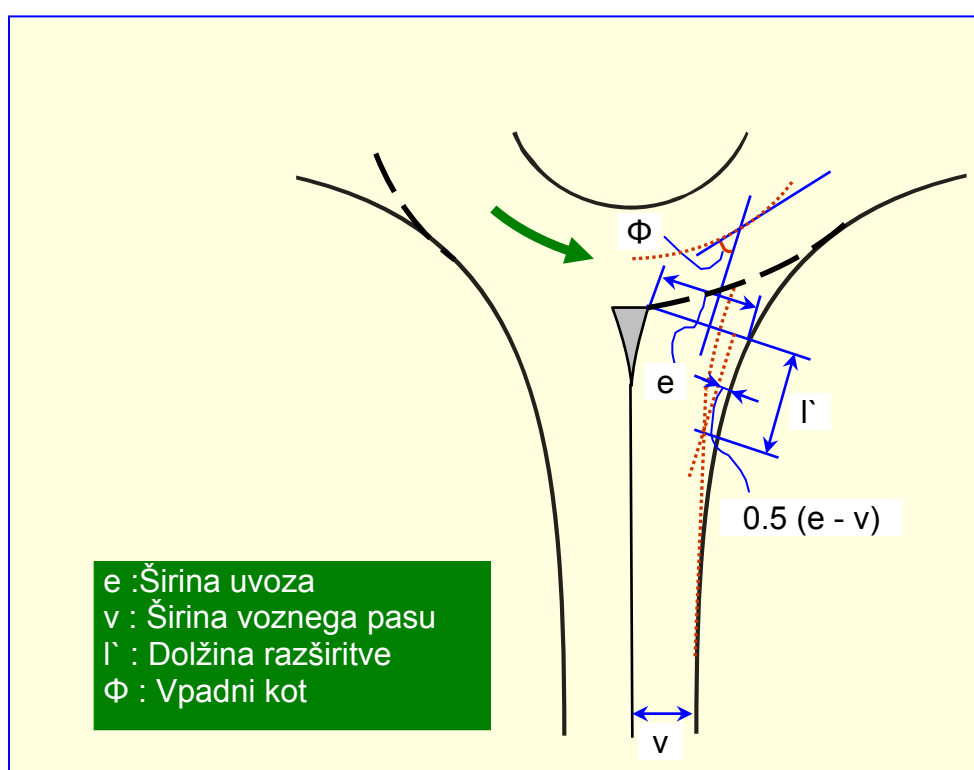
Poleg prometno tehničnih parametrov je potrebno upoštevati tudi prometno varnostni aspekt. Krožno križišče bi v tem primeru delovalo kot element umirjanja prometa, kar glede na izredno nizko stopnjo prometne varnosti ni zanemarljivo. Semaforizirano križišče bi lahko celo poslabšalo prometno varnost (spregledanje rdeče luči, lovljenje zelene luči, ipd).

Delovanje semaforjev bi bilo potrebno po približno 9 letih predvsem v konicah, izven konic (zaradi varnosti tudi ponoči) pa bi ustvarjalo nepotrebne zamude.

5.2 ANALIZA KROŽNEGA KRIŽIŠČA DRNOVO

Trenutno izkoriščenost smo analizirali v času jutranje in popoldanske prometne konice. Po podatkih iz štetja, ki je bilo izvedeno v februarju 2004, je konična ura zjutraj med 6.30 in 7.30, ter popoldan med 15.00 in 16.00. Največja prometna tokova se pojavita na uvozih Krško in HC-Novo mesto, torej v smeri sever-jug.

5.2.1 Angleška metoda – geometrijski elementi



Slika 45: Grafični prikaz geometrijskih podatkov

Razlaga simbolov iz Preglednice 16 oziroma Slike 45 in njihov vpliv na kapaciteto krožnega križišča:

- **Širina voznega pasu pred krožnim križiščem v**

Širina voznega pasu pred krožnim križiščem je pomemben element, s katerim bistveno vplivamo na kapaciteto uvoza. Pri rekonstrukcijah je širina voznega pasu pogojena z obstoječo širino pasu pred rekonstrukcijo. Slovenski predpisi določajo najmanjšo širino pasu 2,75 m, mejne in priporočene vrednosti pa so podane v Preglednici 13.

- **Širina uvoza v križišče e in dolžina razširitve uvoza l'**

Najbolj kritičen vozni manever v krožnem križišču je ravno vstop vanj, zato je zelo pomembno, da je ta majhen prostor optimalno oblikovan. Opisujemo ga z dvema elementoma: širino uvoza e in dolžino razširitve uvoza l' .

Dolžina razširitve uvoza l' je definirana kot dolžina srednjice med krivuljo normalno širokega uvoza in krivuljo razširitve.

Večje priporočene širine uvoza e v Preglednici 16 pomenijo večje število prometnih pasov.

- **Uvozni radij r in vpadni kot Φ**

Elementa na kapaciteto sicer nimata večjega vpliva, sta pa pomembna za zagotavljanje prometne varnosti na uvozu v krožno križišče in v krožnem toku. Velikost uvoznega radija je odvisna od velikosti krožnega križišča. Tuje izkušnje kažejo, da optimalen vpadni kar znaša 30° .

Seveda pa so poleg naštetih geometrijskih elementov krožnega križišča za večjo kapaciteto pomembni tudi:

- **Širina izvoza iz krožnega križišča**

Ena glavnih predpostavk pri izračunu kapacitete uvozov je ta, da se promet nemoteno izliva iz križišča. Da bi to dosegli, mora biti izvoz dovolj širok. Priporočene in mejne vrednosti so navedene v Preglednici 16.

- **Izvozni radij**

Za izvozni radij velja podobno kot za širino izvoza. Izvozni radij naj zagotavlja primerno kapaciteto in varnost izvozov pri izvozni hitrosti vozil. Izvozni radij naj bo večji ali enak uvoznemu, nikakor pa ne manjši od uvoznega.

Preglednica 16: Mejne in priporočene vrednosti geometrijskih elementov

Element	Simbol	Enota	Mejne dimenzije	Priporočene dimenzije
Širina uvoza	e	m	3,6-16,5	4,0-15,0
Širina voznega pasu	v	m	2,75-12,5	3,0-7,3
Dolžina razširitve	l'	m	12-100	30,0-50,0
Vpadni kot	Φ	$^\circ$	0,0-77,0	10-60
Uvozni radij	r	m	6,0-100	8,0-45,0

5.2.2 Obstoječe stanje krožnega križišča Drnovo

Zunanji premer izvedenega krožnega križišča je $D=38m$, kar je glede na predlagani $D=44m$ za projekt PGD/PZI, kar 6 m manj. Ostali podatki so v naslednji tabeli.

Preglednica 17: Geometrijski podatki za krožno križišče Drnovo

<i>Uvoz</i>	<i>e</i> (m)	<i>v</i> (m)	<i>r</i> (m)	Φ (°)	<i>r</i> (m)
1. Krško	5,00	3,60	3,40	37,0	14,00
2. Velika vas	4,50	3,40	3,00	45,0	14,00
3. HC, Novo mesto	5,00	3,60	4,30	30,0	14,00
4. Drnovo	4,50	3,25	3,40	45,0	14,00

5.2.3 Angleška metoda - analiza

Obstoječo izkoriščenost uvozov smo analizirali v času jutranje prometne konice od 6.30 do 7.30 in v času popoldanske konice med 15.00 in 16.00. Uporabili smo angleško metodo za račun kapacitete uvoza. Metoda temelji na geometriji posameznega uvoza in velikosti krožnega toka pred uvozom.

Preglednica 18: Izkoriščenost uvozov v krožnem križišču Drnovo v jutranji konici

<i>Uvoz</i>	Q_C	<i>S</i>	<i>K</i>	X_2	<i>F</i>	<i>M</i>	t_D	f_C	Q_E	Q_{Edej}	<i>A</i>
	(E.O.V./h)								(E.O.V./h)	(E.O.V./h)	(%)
<i>KRŠKO</i>	176	0,6588	0,955	4,204	1215,9	0,111	1,450	0,561	1067	561	52,6
<i>VELIKA VAS</i>	594	0,5867	0,927	3,906	1096,9	0,111	1,450	0,542	718	84	11,7
<i>HC, NOVO MESTO</i>	140	0,5209	0,979	4,286	1271,1	0,111	1,450	0,566	1167	655	56,1
<i>DRNOVO</i>	617	0,5882	0,927	3,824	1073,9	0,111	1,450	0,537	688	171	24,9

Preglednica 19: Izkoriščenost uvozov v krožnem križišču Drnovo v popoldanski konici

<i>Uvoz</i>	Q_C	<i>S</i>	<i>K</i>	X_2	<i>F</i>	<i>M</i>	t_D	f_C	Q_E	Q_{Edej}	<i>A</i>
	(E.O.V./h)								(E.O.V./h)	(E.O.V./h)	(%)
<i>KRŠKO</i>	126	0,6588	0,955	4,204	1215,9	0,111	1,450	0,561	1093	527	48,2
<i>VELIKA VAS</i>	586	0,5867	0,927	3,906	1096,9	0,111	1,450	0,542	722	252	34,9
<i>HC, NOVO MESTO</i>	308	0,5209	0,979	4,286	1271,1	0,111	1,450	0,566	1074	518	48,2
<i>DRNOVO</i>	595	0,5882	0,927	3,824	1073,9	0,111	1,450	0,537	699	155	22,2

Prometni tokovi so tako majhni, da se nikjer niti ne približajo kapaciteti. Promet naj bi se odvijal tekoče, kar pa je v nasprotju z dejanskim stanjem, saj tovornjaki v veliki meri povozijo robnike na uvozu.



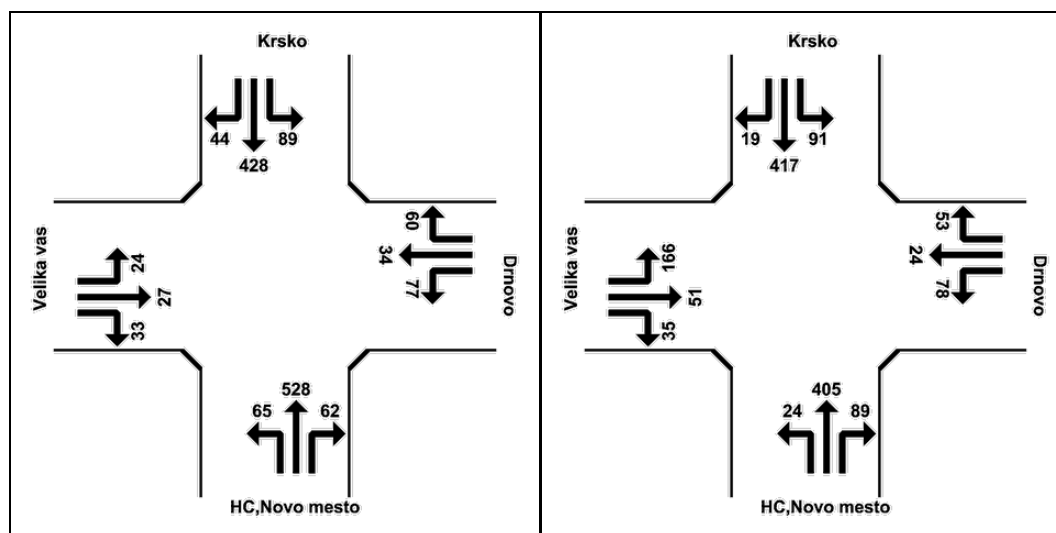
Slika 46: Poškodbe robnikov

Glede na geometrijske podatke iz Preglednice 5 je lepo razvidno, da dolžina razširitve l' bistveno manjša od minimalne mejne vrednosti (12m), kaj šele od minimalne priporočene vrednosti, ki znaša 30m. Tako bi za rešitev tega problema predlagali podaljšanje tega geometrijskega elementa krožnega križišča.

5.2.4 Avstralska metoda - aaSIDRA

Avstralska metoda oziroma izračun po Jacobsu obravnava kapaciteto uvoza v krožno križišče v odvisnosti od krožečega toka z eksponentno funkcijo. Ta metoda izračuna kapacitete uvozov temelji na teoriji časovnih razmikov. Računa se, koliko je praznih prostorov (časovnih razmakov) v glavnem krožnem prometnem toku, kamor se lahko vključujejo vozila iz neprednostnega vhodnega prometnega toka.

Obstoječo kapaciteto uvozov smo analizirali v času jutranje prometne konice od 6.30 do 7.30 in v času popoldanske konice med 15.00 in 16.00. Uporabili smo programsko orodje aaSIDRA. Upoštevali smo prometne obremenitve prikazane na Sliki 47 oziroma v Preglednicah 20 in 21.



Slika 47: Prometne obremenitve v krožnem križišču Drnovo v obeh koničnih urah

Preglednica 20: Prometna obremenitev krožnega križišča Drnovo v jutranji konični uri

(EOV/h)	1. Krško	2. Velika vas	3. HC, Novo mesto	4. Drnovo
LEVO	89	24	65	77
RAVNO	428	27	528	34
DESNO	44	33	62	60
UVOZNI	561	84	655	171
KROŽNI	176	594	140	617
IZVOZNI	612	143	538	178

Preglednica 21: Prometna obremenitev krožnega križišča Drnovo v popoldanski konični uri

(EOV/h)	1. Krško	2. Velika vas	3. HC, Novo mesto	4. Drnovo
LEVO	91	166	24	78
RAVNO	417	51	405	24
DESNO	19	35	89	53
UVOZNI	527	252	518	155
KROŽNI	126	586	308	595
IZVOZNI	624	67	530	231

Letna rast prometa, ki je bila upoštevana med pripravo Primerjalne študije variant križišča glavne ceste GI-5 in lokalnih cest LC 191 310 ter LC 191 130 je bila 3,5%. Vendar se je izkazalo, da je po podatkih štetja prometa iz zadnjih pet let, ki smo jih pridobili iz poročil *PROMET*, dejanska letna rast prometa v zadnjih petih letih kar 6,2%.

Na podlagi teh letnih rasti prometa smo analizirali velikost prometnih tokov in kapacitet uvozov v naslednjih petnajstih letih – isti konec planske dobe kot v predhodni študiji iz meseca marca. Rezultati analize so razvidni iz grafikonov v poglavju 6. Problemi z izkoriščenostjo kapacitet uvozov se bodo predvidoma pojavili šele po 2013, in sicer najprej iz smeri AC, Novo mesto – Obrežje.

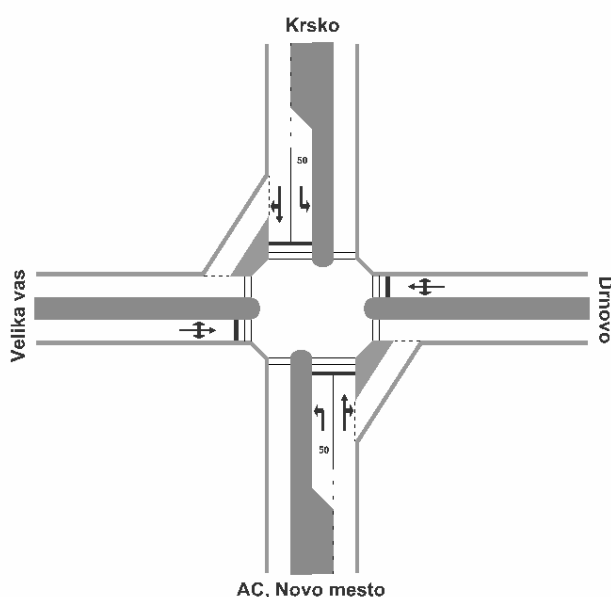
5.3 SEMAFORIZIRANO KRIŽIŠČE DRNOVO– aaSIDRA

S programskim orodjem aaSIDRA 2.0 smo analizirali še primer semaforiziranega križišča, katerega geometrija je bila že predhodno analizirana s programskim orodjem Sidra 5.20. Podrobnejša uporaba tega programskega orodja je predstavljena v poglavju 4.

5.3.1 Geometrija križišča

Analiza je bila izvedena na štirikrakem klasičnem križišču. Osi se sekajo pod pravim kotom. Prednost pa je regulirana s svetlobnimi signalnimi napravami-semaforji..

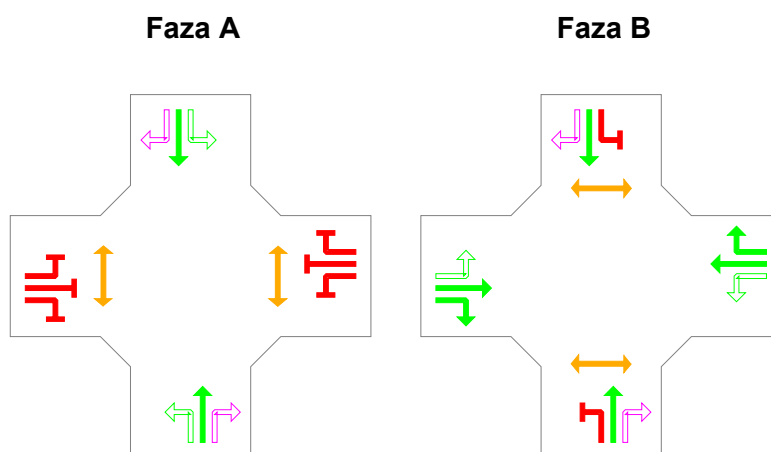
Glede števila pasov glavne in stranske ceste je obravnavan primer dvopasovne dvosmerne glavne in stranske ceste. V tem primeru je upošteva še posebni pas za leve zavijalce, ki je dolg 50 m ter kombiniran pas z izvoznim lijakom za desne zavijalce na glavni smeri.



Slika 48: Geometrija analiziranega semaforiziranega križišča

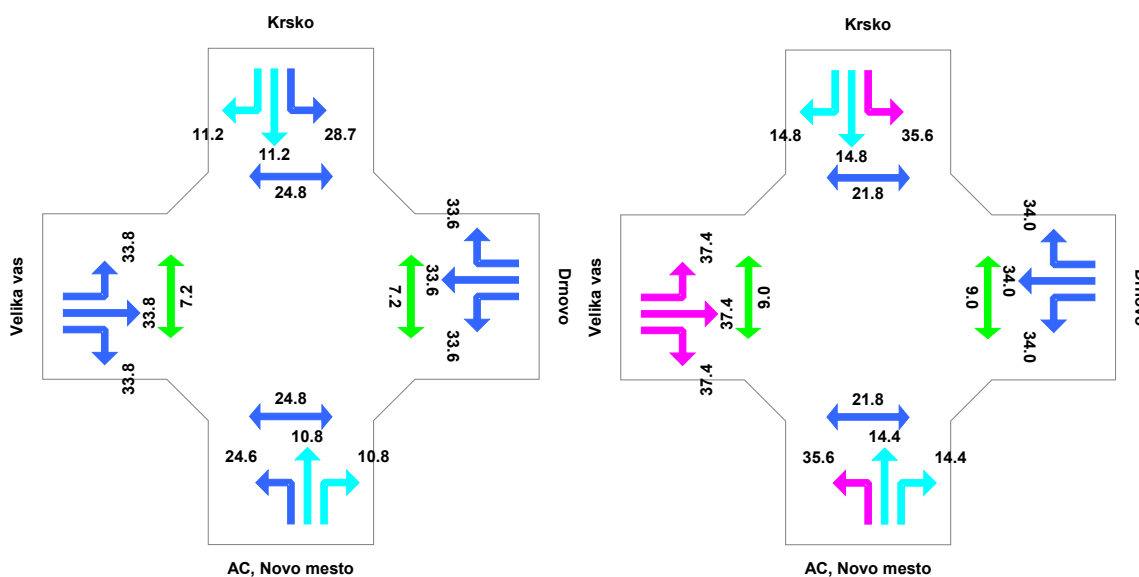
5.3.2 Analiza stanja glede na prometne obremenitve marec 2000

Za krmiljenje SSN smo predvideli enostavno dvo fazno strukturo, ki je prikazana na Sliki 49. Izbrana dolžina cikla je bila $C = 80$ sekund.



Slika 49: Fazna struktura

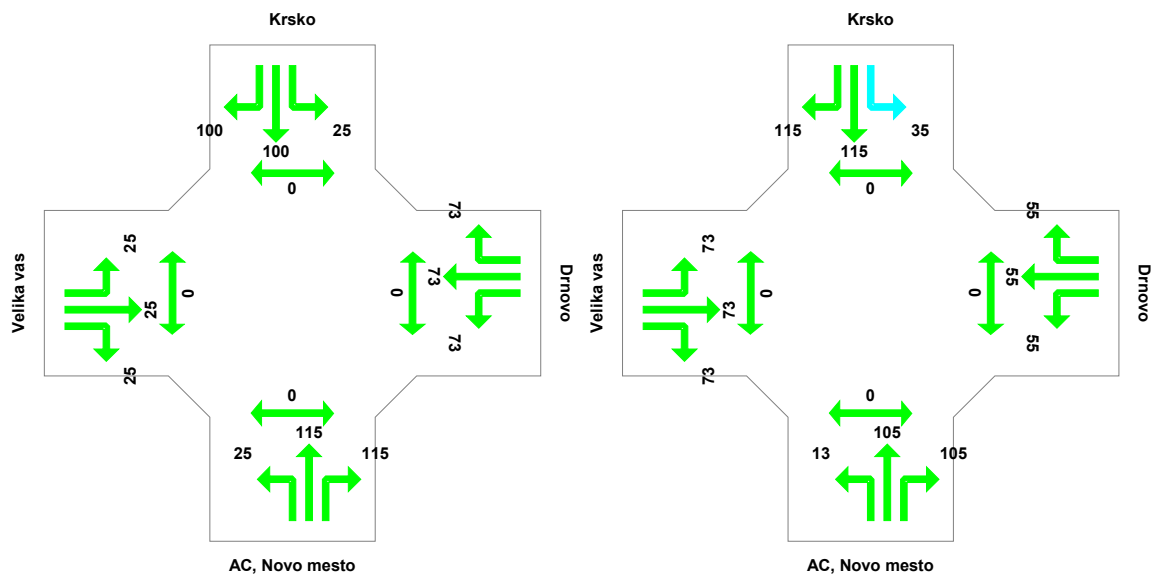
Prometne obremenitve so prikazane v poglavju 5.1. Glede na te obremenitve bi semaforizirano križišče kapacitetno ustrezalo do konca planske dobe 20 let pri povprečni letni rasti prometa 3,5%. Zamude in kolone bodo do konca planske dobe zmerne. NU na glavni cesti in stranski cesti ne bo slabši od D (jutranja in popoldanska konica). Kolone vozil bodo najdaljše na glavni cesti, saj bodo dosegle 20 vozil, oziroma 115 m.



Slika 50: Zamude in NU v križišču [sek/voz] (jutranja in popoldanska konica)

Legenda:





Slika 51: Kolone v križišču Drnovo [m] (jutranja in popoldanska konica)

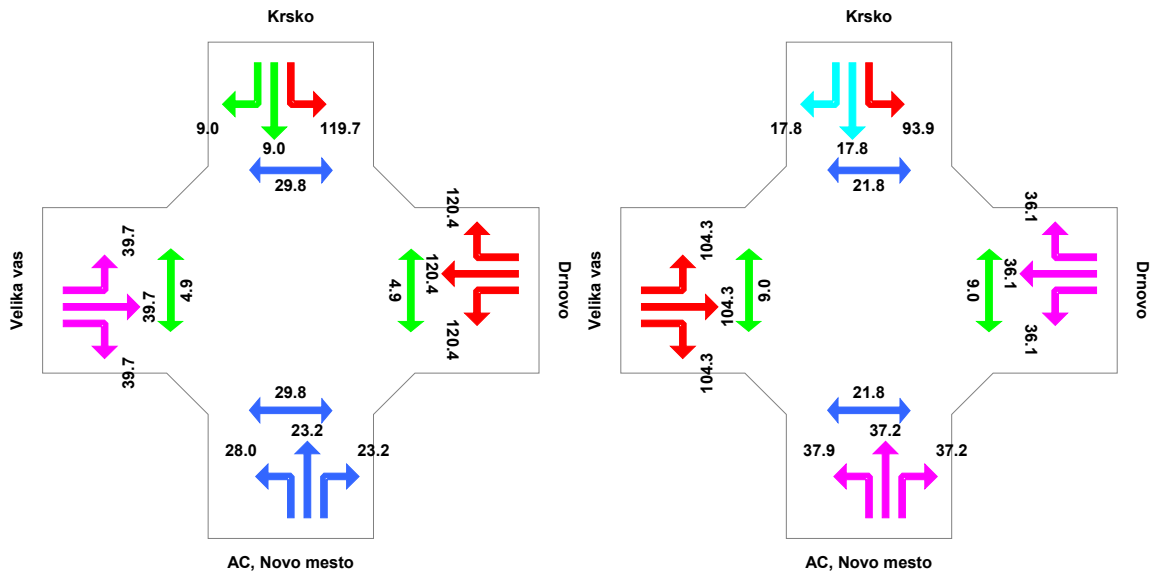
Rezultati analize se nekoliko razlikujejo, ne pa bistveno od analize, ki je bila opravljena v marcu 2000, predvsem zaradi nekoliko kalibriranih parametrov, ki jih programsko orodje aaSIDRA sedaj upošteva v izračunih.

5.3.3 Analiza stanja glede na prometne obremenitve februar 2004

Tudi za to analizo smo za krmiljenje SSN smo predvideli enostavno dvo fazno strukturo, ki je prikazana na Sliki 49. Izbrana dolžina cikla je bila $C = 80$ sekund.

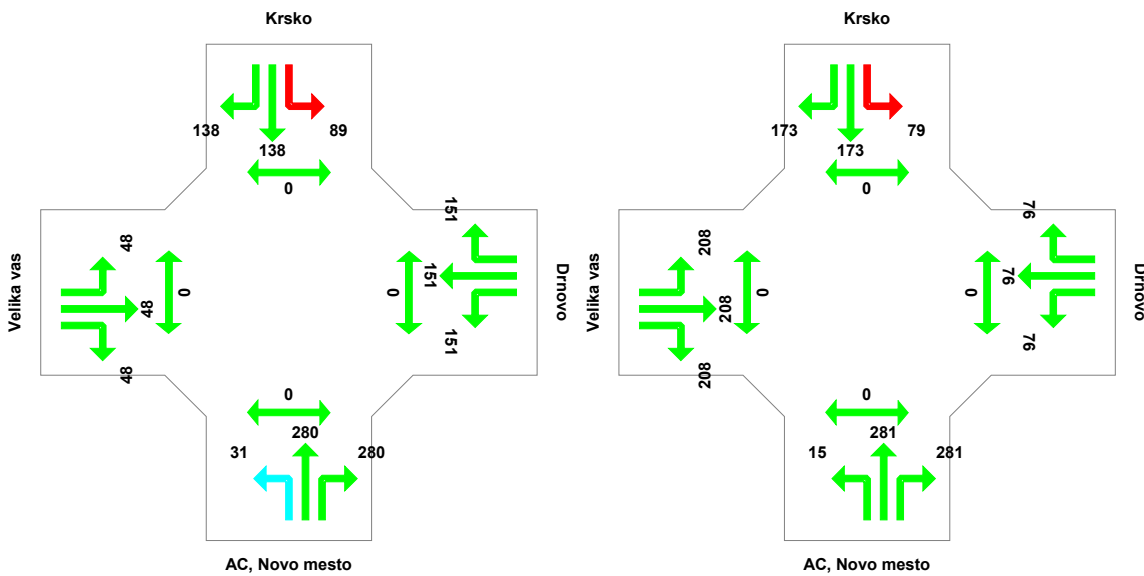
Prometne obremenitve, ki smo jih uporabili so prikazane v poglavju 5.2.4. Glede na te obremenitve in ob enakem krmiljenju SSN semaforiziranega križišča lokalne ceste kapacitetno ne bi ustrezale do konca planske dobe 20 let pri povprečni letni rasti prometa 3,5%. Do največjih zamud in kolon v jutranji konici bi prihajalo iz smeri LC Drnovo, v popoldanski konici pa na LC iz smeri Velik vas. V obeh primerih je NU F.

Na glavni cesti bo v jutranji in popoldanski konici prihajalo do zastojev zaradi levih zavijalcev iz smeri Krškega. Rešitev tega problema bi predstavljal dodatni pas za leve zavijalce ob kombiniranem pasu za naravnost ter desne zavijalce. Hkrati pa se moramo zavedati, da so obremenitve lokalne ceste Velika vas-Drnovo bile izmerjene v času gradnje avtoceste Novo mesto-Obrežje, ko je okoliško prebivalstvo v veliki meri uporabljalo to cesto za obvozno cesto in so se te obremenitve sedaj zmanjšale. Kolone vozil bodo najdaljše na glavni cesti, saj bodo dosegle 47 vozil, oziroma 281 m.



Slika 52: Zamude in NU v križišču [sek/voz] (jutranja in popoldanska konica)

Legenda:

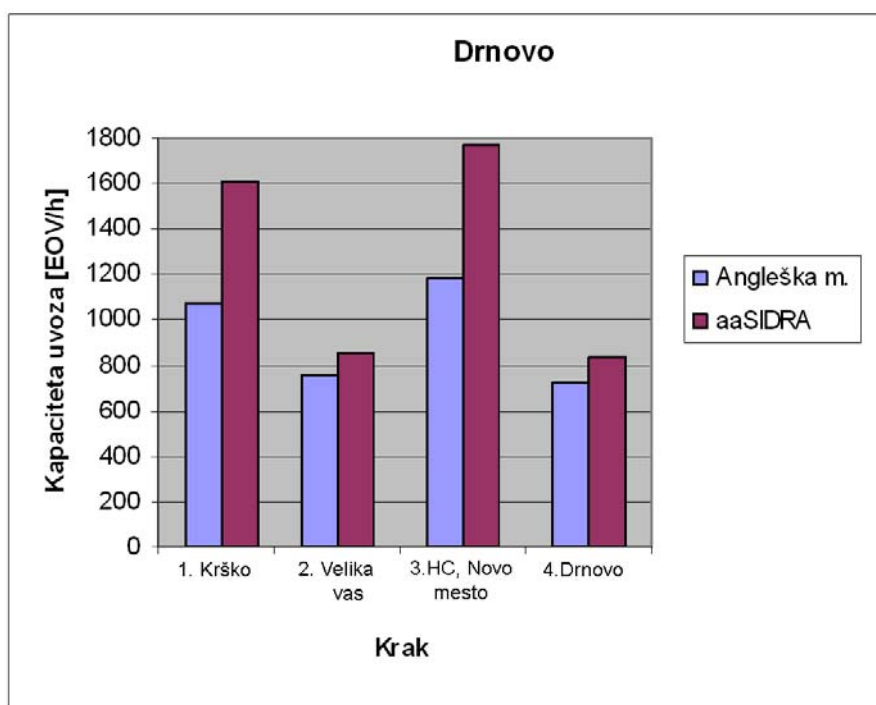


Slika 53: Kolone v križišču Drnovo [m] (jutranja in popoldanska konica)

6 UGOTOVITVE

6.1.1 Primerjava rezultatov metod analize

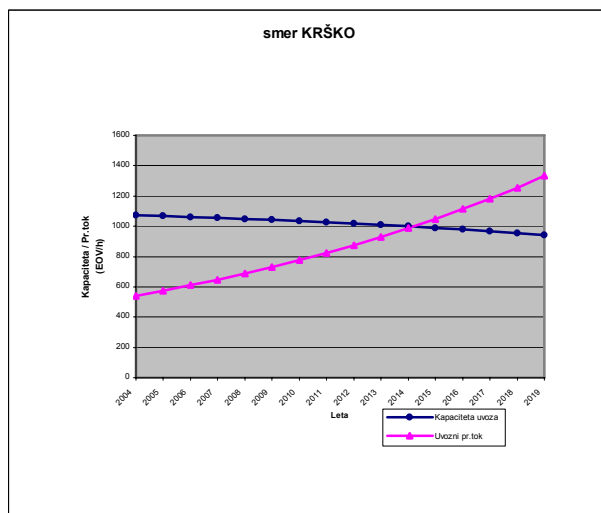
Na spodnji sliki je prikazana primerjava med kapacitetami uvozov izračunanimi po angleški in avstralski metodi. Opazimo, da so odstopanja izrazita na priključkih iz smeri Krško in HC. V teh dveh primerih je kapaciteta uvoza izračunana s programsko opremo aaSIDRA izredno optimistična. Razlog je verjetno v tem, da program aaSIDRA ne upošteva dejanskih projektnih elementov ter da krožnemu toku ne daje toliko pomena kot ostale metode.



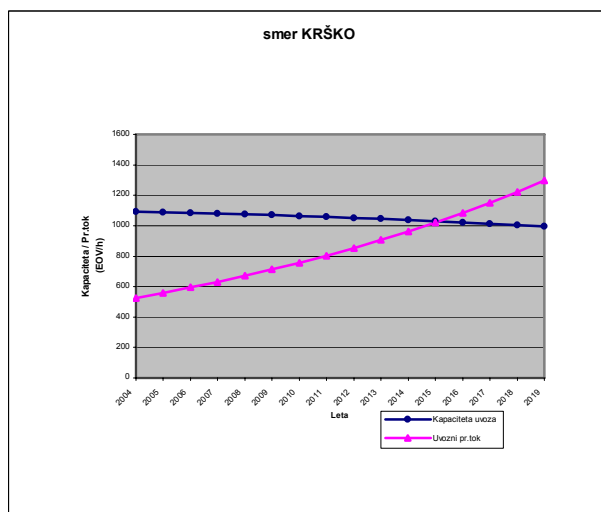
Grafikon 1: Primerjava kapacitet uvozov izračunanih po različnih metodah

6.1.2 Rezultati analize s programskim orodjem aaSIDRA

Rezultati analize so razvidni iz spodnjih grafikonov. Črta temnejše barve predstavlja zagotovljeno kapaciteto uvoza, svetlejša pa velikost prometnega toka, ki se pojavlja na tem uvozu.

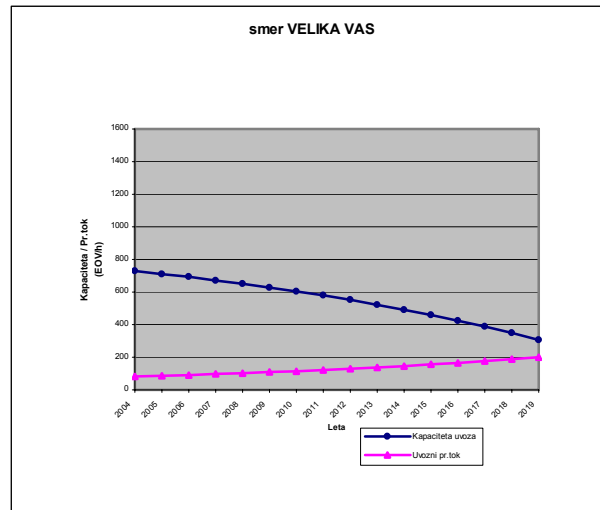


Grafikon 2: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Krško (jutranja konica)

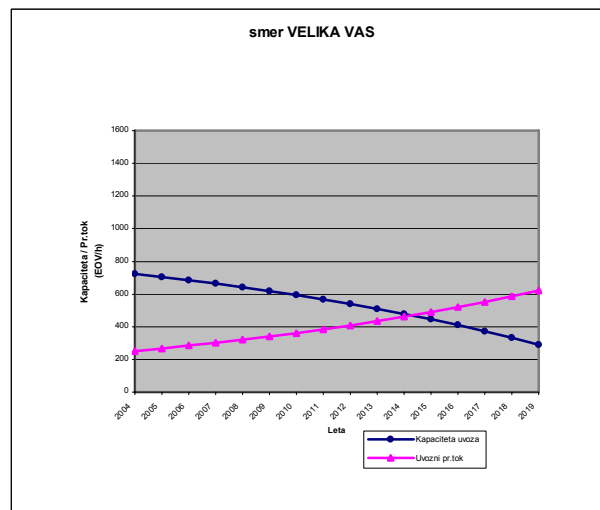


Grafikon 3: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Krško (popoldanska konica)

Kapaciteta uvoza iz smeri Krško v jutranji konici bo presežena z uvoznim prometnim tokom v letu 2014, v popoldanski konici pa v letu 2015.

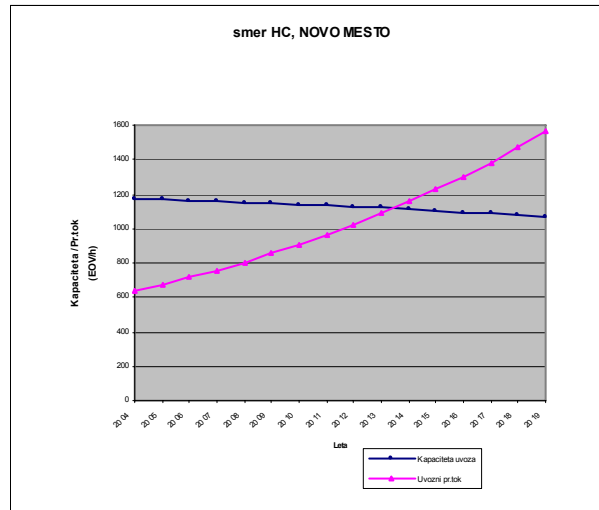


Grafikon 4: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Velika vas (jutranja konica)

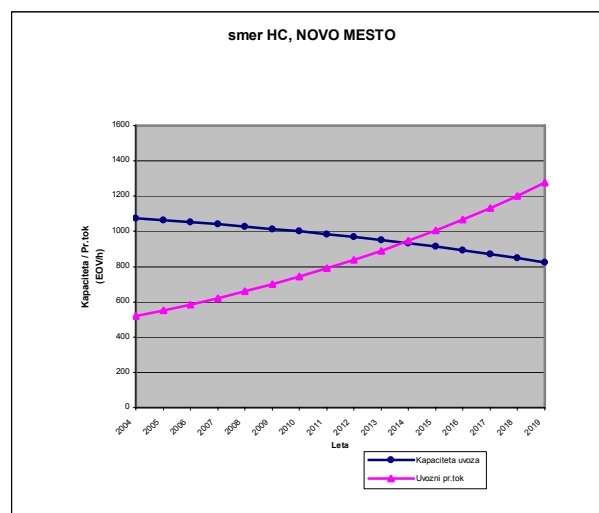


Grafikon 5: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Velika vas (popoldanska konica)

Kapaciteta uvoza iz smeri Velika vas v jutranji konici ne bo presežena z uvoznim prometnim tokom v planskem obdobju, v popoldanski konici pa v letu 2014.

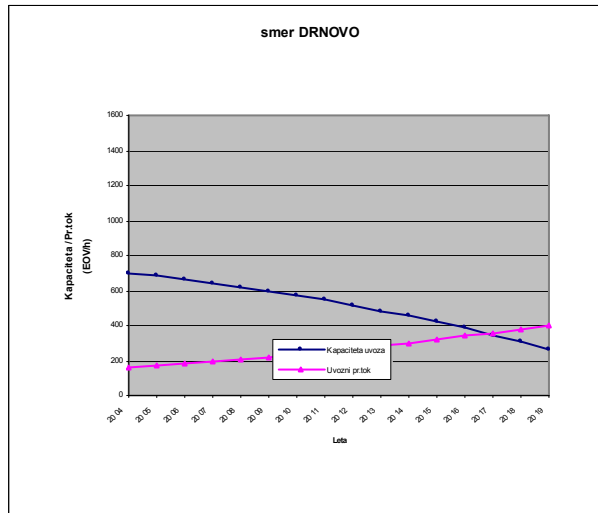


Grafikon 6: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri AC, Novo mesto (jutranja konica)

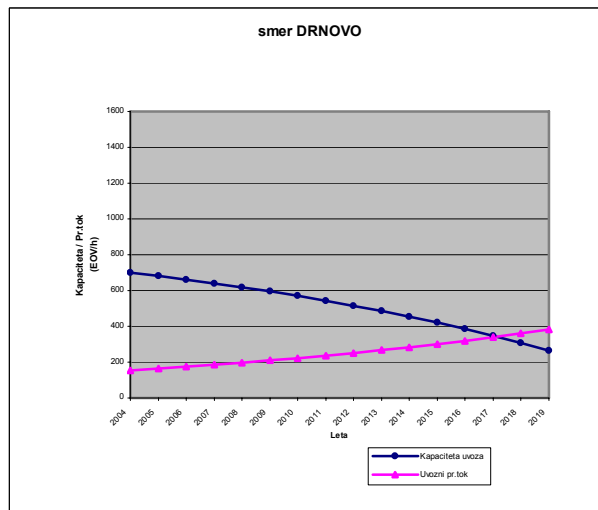


Grafikon 7: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri AC, Novo mesto (popoldanska konica)

Kapaciteta uvoza iz smeri AC, Novo mesto v jutranji konici bo presežena z uvoznim prometnim tokom v letu 2013, prav tako pa tudi v popoldanski konici v letu 2013.



Grafikon 8: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Drново (jutranja konica)



Grafikon 9: Kapaciteta uvoza in uvozni prometni tok iz smeri Drново (popoldanska konica)

Kapaciteta uvoza iz smeri Drново v jutranji konici bo presežena z uvoznim prometnim tokom v letu 2017, do istega rezultata bo prišlo tudi v popoldanski konici v letu 2017.

7 ZAKLJUČEK

Nivojska križišča so tista ozka grla oziroma kritični elementi v cestni mreži, ki poleg prometa in prometnih pogojev določajo učinkovitost in prepustnost cestne mreže. S povečano gostoto je potekanje prometa postalo vse večji problem. Križišča opremljena le s prometnimi znaki danes praviloma sploh ne nudijo zadostne prepustnosti. V križiščih, kjer je začelo prihajati do zastojev, nevarnih situacij in tudi do nesreč, so do nedavnega kot edini sprejemljiv način za nemoteno, tekoče in varno prometno dogajanje, postavljali svetlobne signalne naprave. V zadnjem desetletju pa smo v Sloveniji priče povečanemu zanimanju za krožna križišča in njihovemu raziskovanju. Imajo večjo prometno varnost in visoko zmogljivost, zmanjšajo čakalni čas na uvozih v križišče ter so dobra rešitev pri križanjih s približno enako jakostjo prometnega toka na glavni in stranski prometni smeri.

Namen te naloge je bil predstaviti dve izmed sodobnih metod analize krožnih križišč. Angleška metoda temelji na geometriji posameznega uvoza in velikosti krožnega toka pred uvozom. Avstralska metoda oziroma izračun po Jacobsu pa obravnava kapaciteto uvoza v krožno križišče v odvisnosti od krožečega toka z eksponentno funkcijo. Ta metoda izračuna kapacitete uvozov temelji na teoriji časovnih razmikov. Hkrati pa jo je mogoče s pomočjo programskega orodja aaSIDRA uporabiti za analize ostalih tipov nivojskih križišč.

S to nalogo je bilo predstavljena analiza krožnega križišča v Drnovem in njegovih alternativ. V prvem delu analize krožnega križišča Drnovo z angleško metodo smo ugotovili, da je izkoriščenost kapacitete zelo majhna, vendar so kljub temu tovornjaki povozili robnike na uvozu. Ugotovljeno je bilo, da dolžina razširitve l' bistveno manjša od minimalne mejne vrednosti (12m), kaj šele od minimalne priporočene vrednosti, ki znaša 30m. Tako bi za rešitev tega problema predlagali podaljšanje tega geometrijskega elementa krožnega križišča vsaj na mejno vrednost (12m).

V drugem delu pa smo analizirali Krožno križišče Drnovo s programskim orodjem aaSIDRA in ugotavljali zadostnost kapacitet obstoječih uvozov krožnega križišča. Ugotovili smo, da bo kapaciteta uvoza najprej presežena iz smeri AC, Novo mesto – Obrežje. To se bo ob predvideni letni rasti prometa 6,2% zgodilo že v letu 2013. Rešitev te situacije bi bila rekonstrukcija krožnega križišča v krožno križišče z dvema uvoznima pasovoma in dvema pasovoma v krožnem križišču.

8 LITERATURA

- [1] Tehnična specifikacija za javne ceste, TSC 03.341, Krožna križišča. 2002. Ministrstvo za promet.
 - [2] Tehnična specifikacija za javne ceste, TSC 03.344, Nivojska križišča in priključki. 2003. Ministrstvo za promet.
 - [3] Jian-an Tan. 2001. Comparison of capacity between roundabout design and signalised junction design, 1st Swiss Transport Research Conference. Monte Verita, Ascona, March 1.-3. 2001.
 - [4] Akcelik, R. September 2004. aaSIDRA User Guide. Akcelik & Associates Pty Ltd.
 - [5] Mrgole, S. 2004. Primerjava uspešnosti različnih tipov križišč glede na kriterij čakalnih časov vozil
 - [6] Maher, T. 2000. Primerjalna študija variant križišča glavne ceste GI-5 in lokalnih cest LC 191 310 ter LC 191 130.
-